



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE
MATERIALES Y FABRICACIÓN**

Título del trabajo:

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN
MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS
MEDIANTE SISTEMAS CAD/CAM**

Alumno: Haritz Arribillaga Elizburu

Tutor: Ignacio Puertas Arbizu

Pamplona, Septiembre de 2015

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	6
2. DESARROLLO TEÓRICO	10
2.1 Aspectos generales sobre los plásticos	10
2.2 Alasificación de los materiales plásticos	11
2.2.1 Termoplásticos	11
Acrílicos	12
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	12
Poliamidas (pa)	12
Policarbonatos (pC)	13
Poliésteres	13
Poliétileno (PE)	14
Tereftalato de polietileno (pet)	14
Polipropileno (Pp)	14
Poliestireno (Ps)	15
Policloruro de vinilo (pvc)	15
2.2.2 Termoestables	15
Aminoplásticos	16
Epoxis (EP)	16
Siliconas (Si)	17
2.2.3 Elastómeros	17
Cauchos	18
Elastómeros de poliuretano (pur)	19
2.3 Procesos de conformado de plásticos	19
2.3.1 Procesos de conformado de plásticos termoplásticos	20
Moldeo por extrusión	20
Moldeo por soplado	22
Termoconformado	23
Moldeo por inyección	25
2.3.2 Procesos de conformado de plásticos termoestables	31
Moldeo por compresión	31
Moldeo por transferencia	32
2.3.3 Otros procesos de fabricación	33
Moldeo rotacional	33
Calandrado	34
Moldeo por fundición	35
Procesado de espumas polimericas	35
2.4 Defectos más comunes en piezas de moldeo por inyección	36
Rechupes	37
Rebabas	37
Lineas de soldadura	38
Ráfagas	38
Falta de llenado	39
Delaminación	39
Marcas y deformaciones por la expulsión	40
Alabeo	40
2.5 Aditivos	41
Estabilizantes	42
Retardantes de llama	42
Plastificantes	44

Cargas	45
Pigmentos y colorantes	46
Lubricantes	46
Modificadores de impacto	47
Agentes espumantes	47
3. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA PIEZA	50
3.1 Introducción	50
3.2 Descripción de la pieza	51
3.3 Selección de material	53
Características generales de la Pa6	56
4. DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN	58
4.1 Puntos de expulsión (Expulsores)	58
Análisis previo	58
Solución adoptada	59
4.2 Punto(s) de inyección	60
Análisis previo	60
Solución adoptada	63
4.3 Sistema de vientos	64
Análisis previo	64
Solución adoptada	65
4.4 Sistema de alimentación	66
Análisis previo	66
Solución adoptada	77
4.5 Características del molde	82
Análisis previo	82
Solución adoptada	84
4.6 Circuito de refrigeración	93
Análisis previo	93
Solución adoptada	102
5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN	104
5.1 PLACA 1	104
Lado superior	104
Lado inferior	112
5.2 PLACA 2	120
Lado superior	120
Lado inferior	124
5.3 PLACA 3	131
Lado superior	131
Lado inferior	139
5.4 POST-PROCESADO	146
PLACA 2	147
LADO INFERIOR	147
6. RESUMEN Y COBNCLUSIÓNES FINALES	154
7. BIBLIOGRAFÍA	157
8. ANEXOS	160

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fin de máster es realizar un estudio acerca del mecanizado de un molde utilizado en el moldeo por inyección de plástico. Este molde servirá para fabricar engranajes de poliamida. Mediante este estudio se resolverá si el molde diseñado es válido o no para la fabricación de piezas poliméricas. Además de decidir si el diseño es el correcto, se conocerán los parámetros de mecanizado necesarios para la fabricación del molde. Por tanto, el objetivo principal de este trabajo será el realizar el proceso completo relacionado con el molde: diseño, selección de material y la fabricación.

Cada vez es mayor la utilización de piezas poliméricas, sustituyendo éstas las piezas fabricadas con materiales más convencionales. Esto se debe a las buenas propiedades que tienen, como por ejemplo la resistencia a la corrosión y también está relacionado con su bajo peso y con el coste de fabricación. Es por ello que el estudio de los moldes para la fabricación de piezas poliméricas por inyección de plástico tiene gran importancia.

El molde está compuesto por una parte hembra (parte de inyección), la cual es la parte fija, y una parte macho (parte de expulsión), la cual contiene la parte móvil del molde y permite extraer la pieza de plástico del mismo.

El molde para inyección de plástico de calidad es muy costoso porque requiere un mecanizado de alta precisión y de varias horas, mediante maquinas-herramienta muy precisas.

Además de los factores nombrados previamente, estos son otros factores que determinan el coste de un molde para inyección de plásticos:

- Forma de la pieza de plástico, tamaño y complejidad
- Material
- Calidad de la pieza y acabados
- Tratamientos

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominadas polímeros de estructura macromolecular que pueden ser moldeados mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización.

Mucho ha mejorado la industria desde que en 1909 el químico norteamericano Leo Hendrik Baekeland sintetizó el primer material polimérico a partir del fenol y formaldehído, que bautizó con el nombre de baquelita. A lo largo del siglo XX el uso del plástico se hizo popular y llegó a sustituir a otros materiales tanto en el ámbito doméstico, industrial y comercial siendo imposible hoy en día contemplar la sociedad actual sin su uso. Debido a su buena conformabilidad, es un tipo de material muy versátil a la hora de fabricar piezas con cualquier tipo de forma, por lo

que podemos encontrar multitud de procesos de conformación con propiedades únicas.

Debido al gran avance que ha habido a finales del siglo XX a nivel informático, se han desarrollado programas que realizan simulaciones de cualquier proceso de conformado con muy buenos resultados. Gracias a ello, se ha alcanzado un muy buen nivel de calidad en las piezas finales obtenidas, y sobre todo se ha logrado minimizar el coste económico a la hora de diseñar utillajes, procesos, etc. En el caso del conformado de materiales plásticos, se puede obtener una gran cantidad de información de las distintas etapas a partir de unos parámetros estudiados previamente.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO TEÓRICO

2. DESARROLLO TEÓRICO

2.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE LOS PLÁSTICOS

Hace un siglo, los productos tan cotidianos como los que hoy conocemos como productos plásticos no existían, pero estos han acabado por imponerse en nuestras vidas como elementos cotidianos que son imprescindibles para la vida tal como la conocemos como se puede ver en la figura 1. Algunos claros ejemplos son las bolsas de plástico, cubos de plástico, recubrimiento plástico de cables, revestimiento interior de frigoríficos o discos compactos.



Figura 2.1. Productos de plástico cotidianos

Aún así, los materiales plásticos son de un uso relativamente reciente ya que su elaboración data del siglo XIX, aunque no fue hasta la década de los años 30 del siglo XX cuando realmente cobraron importancia debido a la formulación de su moldeo estructural por parte del químico alemán H. Staudinger. Sin embargo, su auge a nivel industrial no llegó hasta después de la segunda guerra mundial.

Los materiales plásticos se pueden definir como aquellos cuyos componentes están formados por sustancias orgánicas macromoleculares que se originan mediante síntesis o transformación de productos naturales. Estos materiales se producen por el encadenamiento de moléculas muy largas llamadas macromoléculas que a su vez están constituidas por multitud de unidades estructurales sencillas llamados monómeros. Es por ello que a los materiales plásticos se les suele denominar con el término de polímeros [1].

Los materiales plásticos proceden de materias primas tales como el petróleo, carbón, gas natural u otros productos químicos. Además una de las claves de su gran utilización es que su obtención es muy económica, ya que es posible lograr un alto índice de producción y pueden sustituir a otros materiales con las mismas prestaciones que son más caros.

Las propiedades generales de los plásticos son:

- Baja conductividad eléctrica
- Baja conductividad térmica
- Baja densidad
- Alta resistencia a la oxidación y corrosión

- Baja dureza
- Baja resistencia al calor
- Generalmente son reciclables

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS

Existen tres grandes grupos de materiales plásticos. Los termoplásticos, termoestables y elastómeros, los cuales se describirán a continuación.

2.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Los materiales termoplásticos son aquellos cuyas macromoléculas constan de cadenas ramificadas que mantienen su cohesión mediante fuerzas de tipo intermolecular. Una de sus principales características es que se pueden fundir y por lo tanto moldear o conformar repetidas veces ya que sus fuerzas intermoleculares se reducen mediante el calor. Generalmente, son materiales solubles y a temperatura ambiente dependiendo del tipo de propiedades pueden comportarse como blandos, duros y frágiles o duros y tenaces [2].

La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados son bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión, normalmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente.

Por otro lado, estos plásticos pueden presentar una estructura parcialmente cristalina o amorfa. Esto influye en su proceso de fusión, solidificación, y puede determinar las propiedades físicas y mecánicas. Por ejemplo, cuando estos son amorfos suelen ser transparentes, y además a la hora de realizar cualquier proceso de conformado por deformación plástica, hay que tener muy claro el tipo de polímero que es ya que el procesado de este varía tal como se puede ver en la figura 2 que muestra el diagrama PvT de los dos tipos de termoplásticos [3].

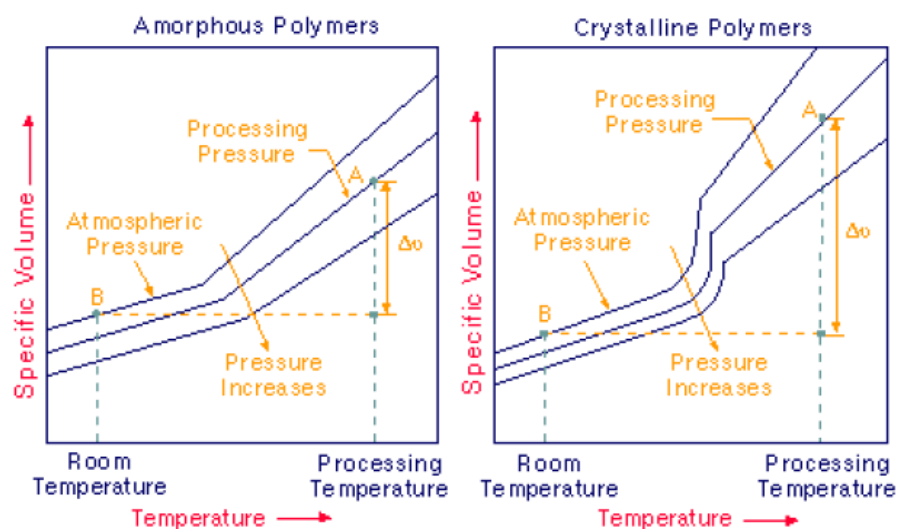


Figura 2.2. Diagrama PvT de polímeros amorfos y cristalinos

Cuando son cristalinos, al enfriarse sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenadamente por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado que se denomina cristalización. Cuando son amorfos en cambio, las moléculas no presentan ningún tipo de orden, están dispuestas aleatoriamente.

Los materiales termoplásticos son los que representan la mayor parte en la producción de plásticos a nivel mundial. Los más importantes para su uso cotidiano son los siguientes.

ACRÍLICOS

El más importante de este grupo es el polimetacrilato de metilo (PMMA) y su estructura es amorfa.

Entre sus ventajas más importantes están sus excelentes propiedades ópticas, su lenta ignición, su buena resistencia a la intemperie y radiación UV y los altos valores de rigidez y resistencia al impacto.

Entre las desventajas se encuentran su bajo valor de resistencia frente a los disolventes, la posibilidad de aparición de grietas bajo tensión y que la temperatura en servicio está limitada a alrededor de 93 °C.

Las aplicaciones más importantes están relacionadas con sus buenas propiedades ópticas tales como uso en lentes, claraboyas, tragaluces, acristalamiento de ventanas y mobiliario de baños.

ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

Es un polímero amorfo y debido a sus propiedades, se puede clasificar como una familia dentro de los materiales plásticos.

Entre sus ventajas más importantes están su alto valor de resistencia al impacto con buena tenacidad y rigidez, buena adherencia con recubrimientos de tipo metálico, resistencia a la corrosión elevada y bajo nivel de absorción de humedad.

Entre las desventajas se encuentran su bajo nivel de resistencia frente a disolventes, su sensibilidad al ataque de compuestos orgánicos de bajo peso molecular, bajos valores de elongación y su bajo valor de temperatura de servicio continuo.

Las aplicaciones más importantes son la fabricación de componentes de automóvil, componentes de electrodomésticos, mangos, cubiertas y carcasas de aparatos debido a su buen acabado superficial.

POLIAMIDAS (PA)

Es un polímero con estructura cristalina que empezó a comercializarse en el año 1938 bajo la marca registrada mundialmente conocida “Nylon”. Existen una gran cantidad de poliamidas tales como la 6,10, la 8, la 9, la 11, la 12 y la 46 pero las más empleadas son la poliamida 6 y poliamida 6,6.

Entre sus ventajas más importantes están su alta resistencia mecánica y resistencia al impacto, su bajo valor del coeficiente de rozamiento, altos valores de resistencia a la abrasión incluso a alta temperatura y su buena resistencia a la corrosión.

Entre las desventajas se encuentran su elevada absorción de la humedad y por lo tanto la variación dimensional, sus propiedades mecánicas y los altos valores de contracción al ser conformados por moldeo.

Las aplicaciones más importantes son engranajes, cojinetes, rodillos, cremalleras y cierres, etc.

POLICARBONATOS (PC)

En este caso el PC se trata de un polímero amorfo. Para la generación del PC existen dos métodos de obtención, el primero y más utilizado consiste en la reacción del bisfenol A (BPA), purificado con fosgeno (Cl_2CO) en condiciones alcalinas, mientras que el segundo implica la reacción del BPA purificándolo con carbonato de difenilo, realizado en vacío y en presencia de un catalizador.

Entre sus ventajas más importantes se encuentran su alto valor de resistencia al impacto, su buena resistencia a la fluencia, temperatura en servicio puntual por encima de 120 °C y su buena estabilidad dimensional.

Entre las desventajas más importantes se encuentran las altas temperaturas de procesamiento necesarias, la baja resistencia a la corrosión frente a medios básicos y su alta sensibilidad al agrietamiento en contacto con los disolventes.

Las aplicaciones más importantes son cristales de seguridad, componentes eléctricos sometidos a esfuerzos mecánicos o térmicos, cascos de seguridad y bandejas de comida congelada entre otros.

POLIÉSTERES

Entre las marcas registradas más habituales de los poliésteres saturados nos encontramos marcas tan conocidas como Dacron y Mylar.

Entre sus ventajas más importantes se encuentran los altos valores de tenacidad y rigidez, y su sencillo procesamiento.

Por otro lado, las desventajas más importantes son la baja resistencia frente a la temperatura, la baja resistencia a la corrosión frente a disolventes y la facilidad para ser atacados por la acción de tanto ácidos como bases.

Las aplicaciones más importantes de los poliésteres son su utilización en forma de fibras en tapicería, su utilización en forma de películas, como engranajes, rotores de bomba, etc.

POLIETILENO (PE)

Este polímero, es una poliolefina que se obtiene a partir del gas de etileno (eteno), que a su vez se produce a partir de gas natural o de petróleo y se trata de un polímero cristalino.

Entre sus ventajas más importantes se encuentran su bajo coste, la buena resistencia a la humedad, su amplia variedad de propiedades finales debido a que se puede fabricar en varios niveles de calidad, y la posibilidad de convertirlo en un material termoestable.

Como se ha mencionado, existen una multitud de calidades de polietileno, pero se pueden dividir en 4 grandes grupos [4]:

- Polietileno de muy baja densidad
- Polietileno de baja densidad lineal
- Polietileno de alta densidad y alto peso molecular
- Polietileno de peso molecular ultra-alto

Entre las desventajas más importantes nos encontramos con su elevado valor de dilatación térmica, su baja resistencia a la exposición medioambiental, su facilidad de agrietamiento y que es inflamable.

Las aplicaciones más importantes son la fabricación de tetra briks, recubrimiento de cables, juguetes y fabricación de distintos tipos de contenedores, entre muchas otras.

TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

Es un tipo de polímero cristalino que es muy bueno para contener bebidas gaseosas debido a su baja permeabilidad, por lo que uno de sus usos más habituales es la fabricación de botellas. Además, otras de sus aplicaciones más importantes son la fabricación de envases de alimentos, fibras para prendas de vestir y alfombras.

POLIPROPILENO (PP)

El polipropileno es una poliolefina bastante similar en origen y fabricación al polietileno. Además, el gas de propileno ($\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$) es más barato que el de etileno y se obtiene a partir del petróleo. Es un polímero con un tipo de estructura cristalina.

Entre sus ventajas más importantes se encuentran su bajo coeficiente de rozamiento, su buena resistencia a la fatiga, la buena resistencia frente a la humedad, alta resistencia a la abrasión y valores de temperatura de operación hasta 126 °C.

Por otro lado, las desventajas más importantes son que se descompone fácilmente frente a la exposición de radiación ultravioleta, que es inflamable, la dificultad de unión con otras piezas y su susceptibilidad a la oxidación, entre otras.

Las aplicaciones más importantes son su uso para recipientes o envases para alimentos y comida, componentes de electrodomésticos, componentes para el sector del automóvil tales como paneles de instrumentos y aislamiento eléctrico de cables.

POLIESTIRENO (PS)

El poliestireno es un polímero amorfo que tiene como monómero de partida el vinil benceno, y sus ventajas más importantes son sus buenas propiedades ópticas y de brillo, su bajo peso y coste, y la buena estabilidad dimensional.

Entre las desventajas más importantes están su inflamabilidad, baja resistencia a la exposición medioambiental, baja estabilidad térmica y fragilidad.

Las aplicaciones más importantes son su uso como embalajes de burbuja, recipientes de todo tipo, fabricación de artículos deportivos, juguetes y aplicaciones de aislamiento térmico.

POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El PVC pertenece al grupo de los polivinilos junto a otros polímeros como el poliacetato de vinilo (PVAC). Además, hay que mencionar que este polímero es uno de los que mayor volumen de fabricación tiene en Europa y EEUU y se trata de un polímero amorfo.

Entre las ventajas más importantes están su buena estabilidad dimensional, bajo coste, buena resistencia a la exposición medioambiental y un amplio intervalo de propiedades con las que se puede fabricar.

Las desventajas más importantes son la baja resistencia térmica, alta densidad comparando con otros plásticos y que en su degradación desprende una sustancia tóxica como es el ácido clorhídrico (HCl).

Las aplicaciones más importantes son la fabricación de tuberías, recubrimiento de cables y mangueras e imitación de pieles a partir de las polipieles de PVC.

2.2.2 TERMOESTABLES

Los materiales termoestables a diferencia de los termoplásticos están fuertemente reticulados en todas las direcciones tal como se puede ver en la figura 3. Son materiales más estables químicamente y son duros e infusibles. A diferencia de los termoplásticos, son resistentes a altas temperaturas y no se pueden disolver

en contacto con disolventes, y uno de los grandes problemas es que una vez alcanzan un estado final reticulado, es imposible volver a fundirlos, por lo que no son buenos para el medioambiente. Además los acabados suelen ser más pobres que para los termoplásticos, y a temperatura ambiente son duros pero frágiles.

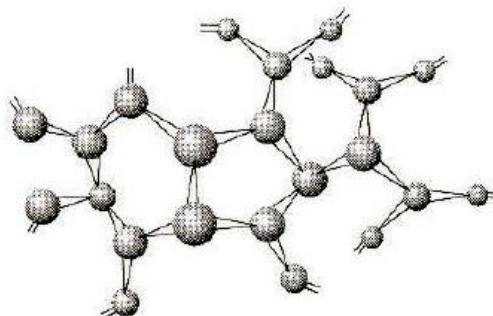


Figura 2.3. Cadenas fuertemente reticuladas

Los más importantes para su uso cotidiano son los siguientes.

AMINOPLÁSTICOS

Estos termoestables se producen por la interacción de aminas ($-\text{NH}_2$) con aldehídos ($-\text{CHO}$), resultando los más comúnmente empleados la urea-formaldehído (UF) y la melamina-formaldehído (MF)

Las ventajas más importantes de estos materiales son que tienen elevados valores de dureza y de resistencia al rayado, bajo coste, que son fáciles de lograr en una amplia gama de colores y que son autoextinguibles.

Por otro lado, entre sus desventajas se encuentran que tienen una baja resistencia a la oxidación, que son susceptibles a ser atacados por ácidos y bases fuertes, y que hay que utilizar aditivos para poder conformarlos por moldeo.

Sus aplicaciones más comunes son la fabricación de tapones de botellas, como adhesivos para la fabricación de aglomerados y contrachapados, como recubrimientos superficiales, y su uso para fabricación de mobiliario, entre otras.

EPOXIS (EP)

Las resinas epoxi tienen como ventaja que tienen un amplio rango de temperaturas de curado facilitando su conformado y además no se desprenden sustancias volátiles durante su curado. Por otro lado, tienen excelentes propiedades de adherencia superficial como de compatibilidad, se pueden reforzar con otros materiales y tienen muy bajo valor de contracción.

Entre sus desventajas habría que destacar que son sensibles frente a la humedad, tienen una resistencia a la temperatura limitada entre 178 y 232 °C y tienen un elevado coste.

Entre las aplicaciones más comunes de las resinas epoxi se pueden citar multitud de recubrimientos, su utilización en la fabricación de barcos, pavimentos, muebles

de madera, así como su uso como adhesivo sobre todo en la industria aeroespacial y de automoción.

SILICONAS (SI)

Por último, dentro de los termoestables cabe mencionar las siliconas. En la práctica una silicona es cualquier tipo de polímero que contiene átomos de silicio. Generalmente, se fabrican en forma de líquidos, materiales compuestos, lubricantes, resinas y elastómeros.

Las ventajas más significativas son que tienen un amplio intervalo de resistencia a la temperatura, desde -73 a 315 °C. Por otro lado, tienen unas buenas propiedades de impermeabilidad, gran flexibilidad, bajo valor de absorción de agua y buena resistencia química.

Las desventajas son su bajo valor de resistencia mecánica, un elevado coste y que puede verse atacado por disolventes halogenados.

Entre sus aplicaciones más utilizadas están el sellado de juntas, los implantes quirúrgicos en cirugía estética y plástica así como lubricantes a alta temperatura. Además, se pueden reforzar con fibra de vidrio y así obtener piezas estructurales resistentes.

2.2.3 ELASTÓMEROS

Los elastómeros son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de monómeros que están unidos formando grandes cadenas las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas.

Cuando son sometidos a grandes esfuerzos, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman una distribución muy ordenada (cristalina), pero cuando se deja de tensionarlas retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas.

El entrecruzamiento o curado que se le aplica a los elastómeros es similar al de los termoestables, pero en este caso el entrecruzamiento es mucho menor puesto que tiene que ser suficientemente espaciado.

Generalmente, son unos materiales muy tenaces, resistentes a aceites y grasas y tienen una buena flexibilidad a bajas temperaturas. De hecho, los elastómeros tienen una temperatura de transición vítrea inferior a la temperatura ambiente. Aún así, tienen como desventaja al igual que los termoestables que necesitan una alta cantidad de energía para procesarlos y no son reciclables.

Entre los elastómeros más importantes se pueden encontrar los siguientes.

CAUCHOS

Existen una multitud de cauchos, aunque los dos grandes grupos que se pueden diferenciar son los cauchos naturales y los sintéticos.

El caucho natural se obtiene a partir del látex, el cual se obtiene a partir de un árbol llamado “*Hebea Brasiliensis*” que es típico de climas tropicales. La obtención del caucho natural a partir del látex fue inventando por Charles Goodyear en el año 1844. Este proceso se denomina vulcanización y consiste en mezclar el látex con azufre y varios productos químicos para posteriormente calentarlo y obtener el producto final. El efecto que se produce es la reticulación transversal, aumentando la dureza y resistencia mecánica a la vez que se mantiene la ductilidad [5].

El caucho natural tiene como ventaja la buena resistencia al desgaste y a la fatiga, pero el problema que tiene es que se degrada fácilmente al exponerlo al calor, radiación ultravioleta, oxígeno, etc.

Entre sus aplicaciones más habituales están la fabricación de neumáticos, juntas, tacones, suelas de zapatos, absorbedores de vibraciones, etc.

Por otro lado, existen los cauchos sintéticos. Los más importantes son los siguientes:

- Caucho estireno butadieno (SBR)
- Caucho polibutadieno (BR)
- Caucho butílico (PIB)
- Caucho cloropreno o neopreno (CR)
- Caucho etileno propileno (EPDM)
- Caucho isopreno (IR)
- Caucho nitrilo o butadieno acrilonitrilo (NBR)

Comparados con el caucho natural, presentan una resistencia más elevada al calor, a la exposición de la gasolina, a los productos químicos así como tienen un intervalo de temperaturas de utilización más amplio.

La aplicación predominante de los cauchos sintéticos es la fabricación de neumáticos ya que tienen un mejor comportamiento frente al ambiente. Aún así otras aplicaciones en las que se utilizan son mangueras de gasolina, calzado, productos hinchables, aislamientos de cables, etc.

Por último, comentar que entre todos los cauchos nombrados el más utilizado es el caucho SBR con un 40 % de cuota de mercado, seguido del caucho natural con un 22 % y el BR con un 12 %. Los demás tipos de caucho tienen una cuota de mercado inferior al 5 %.

ELASTÓMEROS DE POLIURETANO (PUR)

El poliuretano como tal es un polímero termoestable, pero si se reduce al mínimo su grado de reticulación transversal, este se comporta como un elastómero. Por lo tanto, se puede ajustar su grado de reticulación para obtener las propiedades requeridas para cada aplicación, y en su forma no expandida se puede conformar por moldeo [6].

Entre sus ventajas están sus buenas propiedades mecánicas tales como rigidez, dureza y resistencia a la abrasión. Además, tiene muy buena resistencia al envejecimiento por exposición al ozono.

La mayor desventaja de este tipo de elastómeros frente a otros es su elevado coste, aunque sus propiedades son mejores.

Dentro de sus aplicaciones más habituales se pueden encontrar las de fabricación de colchones, muebles o asientos de automóvil, entre otros. Esto es debido a que una de las maneras más habituales de su fabricación es en forma de espuma flexible, aunque también puede ser rígida o semi-rígida según necesidades. Otra de sus aplicaciones poco habituales se encuentra en la fabricación de membranas para realizar conformados con matriz de caucho el cual es un proceso de deformación plástica parecida al hidroconformado.

2.3 PROCESOS DE CONFORMADO DE PLÁSTICOS

El conformado de un material plástico consiste en obtener una pieza de una forma predeterminada cuyo comportamiento sea adecuado para las aplicaciones para las que ha sido diseñado. El conformado depende del tipo de material que queramos conformar, por lo que habrá que tener en cuenta el tipo de material según los que se han mencionado anteriormente.

Tal como se ha explicado antes, los polímeros termoestables se conforman en determinadas condiciones de presión y/o calor, las cuales hay que aplicar el tiempo necesario para obtener la reacción química en la cual el material alcanza la forma final. En estos procesos las moléculas se entrelazan de manera permanente, tras lo cual no se pueden volver a conformar. Debido a la menor utilización de este tipo de polímeros, el número de tipos de conformado de termoestables es menor que en termoplásticos donde existen una gran variedad de métodos de conformado.

Los termoplásticos a diferencia de los termoestables, requieren procesos con menor temperatura de conformado y tras ser conformados, admiten futuros conformados pudiendo reutilizarse el material.

Los procesos de conformado más habituales en la industria plástica son los siguientes.

2.3.1 PROCESOS DE CONFORMADO DE PLÁSTICOS TERMOPLÁSTICOS

MOLDEO POR EXTRUSIÓN

Este proceso de conformado es utilizado habitualmente también en metales y es un proceso continuo en el cual se fuerza al material a fluir a través del orificio de una matriz para generar un producto cuya forma de la sección transversal queda determinada por la forma de dicho orificio. A medida que el producto fluye a través del orificio, el producto extruido se va cortando para obtener las longitudes deseadas [7].

Es un proceso de conformado muy extendido en termoplásticos y elastómeros pero raramente se utiliza con materiales termoestables. Para ello se funde la materia prima mediante temperatura y fricción y se le da la forma deseada.

El equipo de extrusión se suele denominar como extrusora y tiene como objetivo transformar la materia prima inicial en una masa fundida homogénea haciéndola pasar a través de la matriz. Una máquina de extrusión consta de un eje metálico central con alabes helicoidales llamado husillo, instalado dentro de un cilindro metálico y revestido con una camisa calefactora de resistencias eléctricas. En un extremo del cilindro se encuentra un orificio de entrada para la materia prima, donde se instala una tolva de alimentación, generalmente de forma cónica. En ese mismo extremo se encuentra el sistema de accionamiento del husillo, compuesto por un motor y un sistema de reducción de velocidad. En la punta del tornillo, se ubica la salida del material y el perfil que da la forma final al producto plástico.

En la figura 4 se puede ver el diagrama de una extrusora convencional.

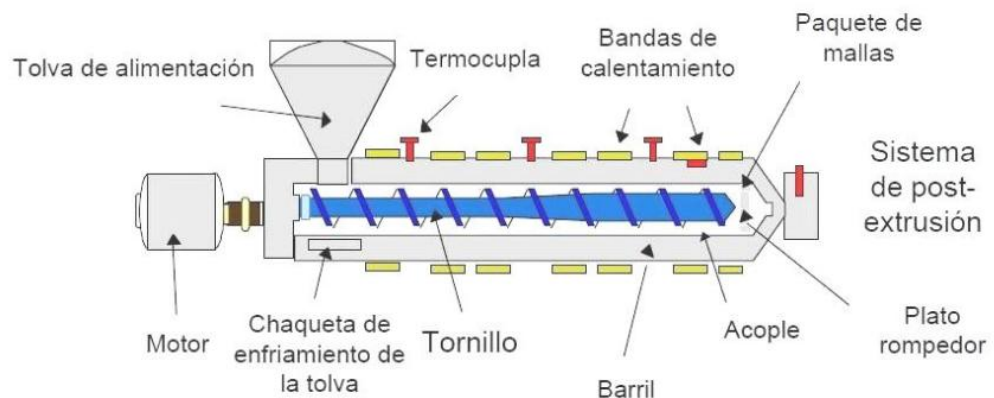


Figura 2.4. Diagrama de una extrusora convencional

- Tolva

Es el elemento encargado de suministrar a la extrusora el material plástico que se va a conformar. El material se suministra en forma de

pellets el cual se introduce mediante la fuerza de la gravedad y un mecanismo vibratorio.

- Husillo o Tornillo

Es el elemento fundamental ya que desempeña diversas funciones tales como carga del material, transporte, fusión y homogeneización. El husillo más utilizado es el husillo de tres zonas ya que permite transformar de forma satisfactoria la mayor parte de los materiales termoplásticos. Estas zonas son la zona de alimentación, la zona de compresión-fusión y la zona de plastificado o bombeo.

- Cilindro o Barril

El cilindro es el elemento que contiene al husillo extrusor. Es un elemento importante ya que en función de éste se realizan distintas clasificaciones de máquinas de extrusión. Las máquinas se denominan en función del cilindro de husillo único y cilindro convencional, de husillo único y cilindro de alto rendimiento, de doble husillo y con giro contrario y de doble husillo y con giro paralelo.

- Sistema de calentamiento y refrigeración

Estos sistemas están divididos en varias zonas y son los encargados de calentar o refrigerar de manera independiente. Normalmente, se utilizan bandas calefactores eléctricas, aunque también se pueden utilizar otras maneras de refrigeración como husillos refrigerados.

El requisito más importante de los materiales a extruir es que tienen que tener una elevada viscosidad. Se emplea para la fabricación a gran escala de piezas como tubos, mangueras o perfiles estructurales además de recubrimientos de cables. En la figura 2.5 se pueden ver unos tubos de plástico conformados mediante extrusión.



Figura 2.5. Tubos de plástico conformados mediante extrusión

MOLDEO POR SOPLADO

El moldeo por soplado es un proceso de fabricación en el que se utiliza aire a presión para producir piezas huecas mediante la expansión del material plástico en el interior de un molde. Se utiliza una presión entre 300 y 700 KPa y produce piezas de poco espesor tales como botellas y envases similares. Al ser un mercado muy amplio, la producción suele realizarse en grandes volúmenes.

El moldeo por soplado consta de dos partes claras. La primera etapa es la fabricación de una preforma inicial, y ésta se puede fabricar mediante un moldeo por extrusión o por inyección dando lugar a las dos variantes más importantes: el moldeo por extrusión y soplado y el moldeo por inyección y soplado.

La segunda etapa trata en realizar el soplado de la preforma tubular hasta obtener la forma final de la pieza. Por lo tanto podemos dividir el proceso en 4 fases:

- Fabricación de la preforma
- Cierre del molde
- Soplado
- Apertura del molde

En la figura 2.6 se puede ver esquemáticamente un proceso de moldeo por extrusión y soplado.

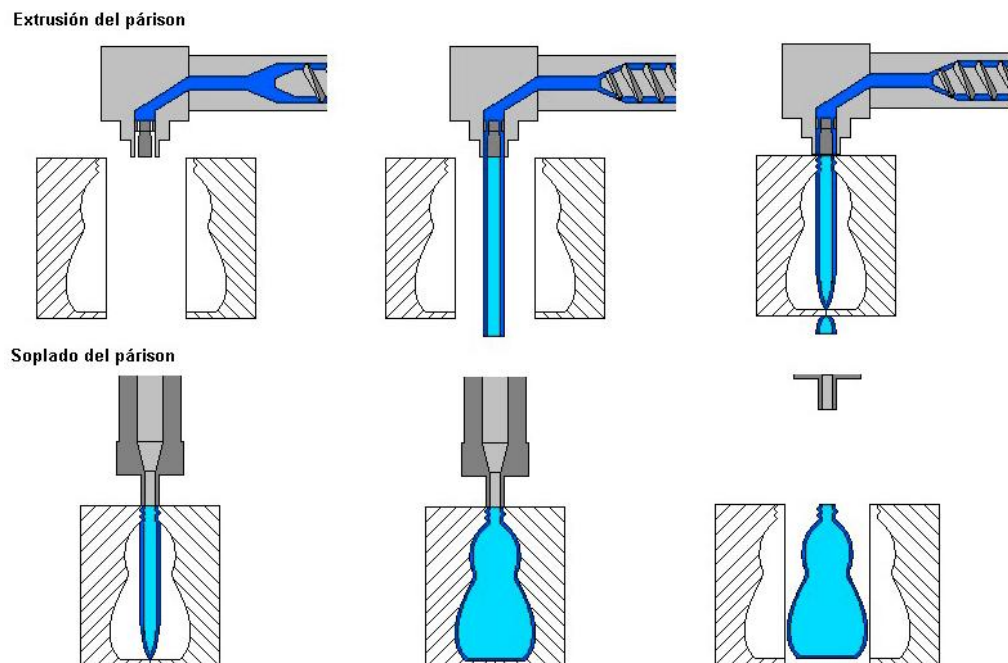


Figura 2.6. Proceso de moldeo por extrusión y soplado

El moldeo por inyección y soplado tiene una velocidad de producción más baja que la variante de la extrusión, por lo que es menos utilizada.

Este proceso se limita generalmente a los materiales termoplásticos, y el material más empleado es el polietileno (PE), y en particular los de alta densidad (HDPE) y alto peso molecular (HMWPE). Aún así también se utilizan otros materiales como el PP, PVC y PET. La aplicación más utilizada para este tipo de conformado es el de fabricar envases desechables para productos líquidos tal como se puede ver en la figura 2.7, aunque también se puede utilizar para fabricar juguetes o depósitos de gasolina.



Figura 2.7. Envases desechables para productos líquidos

TERMOCONFORMADO

El termoconformado es un proceso usado en la conformación de una plancha u hoja de material termoplástico sobre un molde mediante la aplicación de calor y presión.

El termoconformado consta principalmente de dos partes, el calentamiento y el conformado. Primero se calienta la lámina de plástico mediante hornos o radiadores eléctricos hasta producir el ablandamiento del material. Tras calentar el material se realiza el conformado. El conformado se puede realizar mediante tres tipos de sistemas distintos cada uno con sus ventajas y desventajas.

- Termoconformado al vacío

Es el más antiguo de todos y consiste en utilizar una presión de vacío para que la lámina precalentada se adhiera a la superficie del molde.

- Termoconformado a presión

En este caso se emplea una presión positiva para empujar el molde contra el molde. La ventaja respecto al termoconformado al vacío es que se pueden utilizar presiones más elevadas.

- Termoconformado mecánico

A diferencia de los anteriores, en este caso se emplean dos moldes o matrices para conformar la lámina precalentada. Se realiza mediante una fuerza que ejerce

una parte contra la otra y su principal ventaja es el buen control dimensional. Su desventaja en cambio es su coste mayor debido a la mecanización de dos matrices.

Por lo tanto el termoconformado de manera general se puede dividir en 4 fases:

- Calentamiento
- Colocación de la lámina sobre el molde
- Presión o fuerza
- Endurecimiento y extracción

En la figura 2.8 se puede ver esquemáticamente un proceso de termoconformado al vacío.

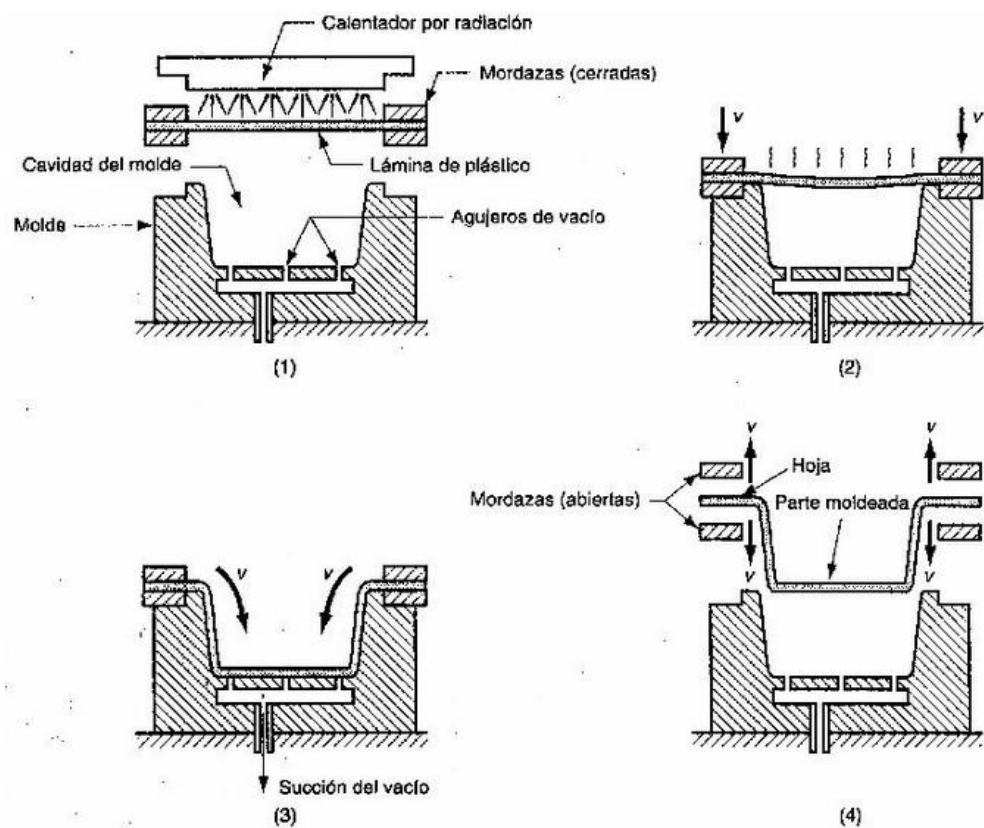


Figura 2.8. Proceso de termoconformado al vacío

En este caso, sólo se pueden conformar materiales termoplásticos ya que son los únicos que se ablandan al calentarse y los que se emplean más habitualmente son el poliestireno, acetato de celulosa, acrilonitrilo-butadieno-estireno, polimetacrilato de metilo, polipropileno, etc. Ejemplos de aplicaciones de este proceso de conformado son bañeras, claraboyas, revestimientos interiores de frigoríficos, etc. En la figura 2.9 se puede ver un blister conformado mediante este tipo de conformado.



Figura 2.9. Blister obtenido a partir de un proceso de termoconformado

MOLDEO POR INYECCIÓN

El moldeo por inyección consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde donde se enfría hasta una temperatura a la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. Normalmente, se aplica a materiales termoplásticos, aunque también se puede aplicar a materiales termoestables y a elastómeros sintéticos [8].

En el moldeo por inyección, un polímero en estado líquido y caliente no newtoniano, fluye a través de conductos o canales llenando un molde que tiene las paredes “frías”. Este proceso va a ser utilizado para la fabricación de los engranajes de poliamida.

Es el proceso de fabricación de materiales plásticos más importante ya que el 60 % de los equipos de procesamiento de material plástico en el mundo son de inyección. Mediante este tipo de conformado se pueden fabricar piezas de gran diversidad de tamaños, y se pueden fabricar varias piezas en cada ciclo de inyección. Se pueden fabricar geometrías complejas y debido al elevado coste de utillajes y molde, suele utilizarse cuando se realizan un gran número de piezas. Los tiempos de inyección suelen durar generalmente entre 10 y 30 segundos, aunque dependiendo de las piezas pueden ser superiores incluso a 1 minuto.

A lo largo de la historia se han utilizado diferentes tipos de máquinas de inyección tales como las máquinas de pistón, máquinas de pistón con preplastificación y las máquinas de husillo. Hoy en día, las más utilizadas son las denominadas “Máquinas de husillo” tal como se puede ver en la figura 2.10, que son las que proporcionan un calentamiento uniforme del material así como un mezclado homogéneo y más eficiente. En estas máquinas, la inyección del material se realiza desde la cámara de plastificación que está provista de un husillo. Para calentar el material, la rotación del husillo transforma parte de la energía mecánica en calor por fricción, además del calentamiento producido por las paredes calientes del cilindro dando una buena eficiencia de transmisión de calor.

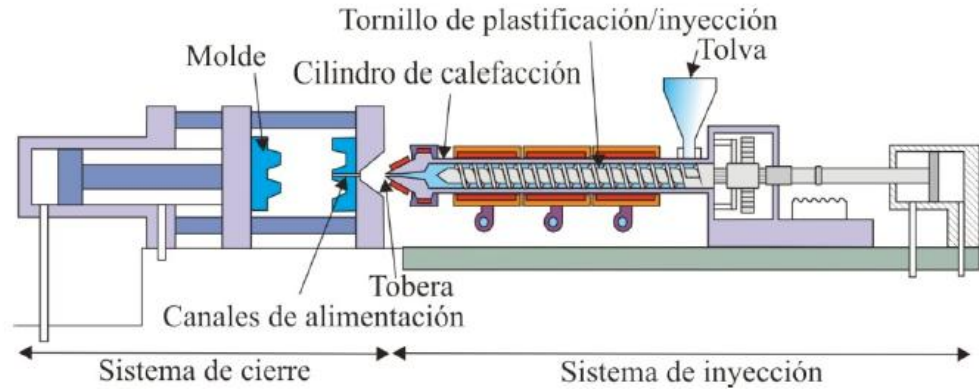


Figura 2.10. Diagrama de máquina de inyección de husillo

En estas máquinas conforme el husillo gira, la máquina produce material fundido que se va acumulando en la parte anterior del mismo. Para alojar el material fundido, el husillo retrocede lentamente y se detiene cuando hay suficiente material fundido dentro del husillo. Una vez que se detiene, se realiza un movimiento axial hacia delante realizando la inyección del material fundido como se puede observar en la figura 2.11.

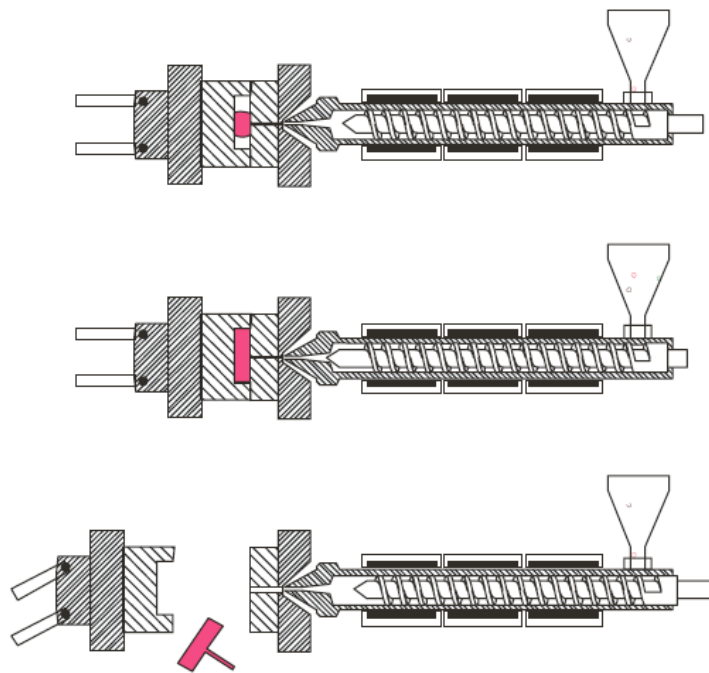


Figura 2.11. Proceso de inyección y expulsión del material plástico

Teniendo en cuenta todo lo mencionado hasta ahora, la máquina de inyección de husillo consta de dos componentes principales, la unidad de inyección y la de cierre. El hecho de considerar independientes estas dos unidades permite construir máquinas a medidas en función de la pieza plástica a fabricar. Esto es muy útil ya que si, por ejemplo, se tiene una pieza que tiene poco material pero mucha superficie se necesitará una unidad de inyección pequeña pero una gran fuerza de cierre tal como puede ser una bandeja. En cambio si se quiere moldear una pieza con mucho material y compacta, se necesitará una fuerza de cierre pequeña pero una gran unidad de inyección.

La unidad de inyección es la que se encarga de fundir el material plástico, homogeneizarlo, dosificarlo e inyectarlo en la cavidad del molde. Es parecida a un equipo de extrusión y está formado por un cilindro en cuyo extremo se encuentra una tolva de alimentación donde se introducen generalmente los pellets. Dentro del cilindro se encuentra el husillo que sirve para realizar el calentamiento y la posterior mezcla de la masa fundida. Además, como se ha mencionado antes, este husillo realiza un movimiento axial para realizar la función de pistón e inyectar el material en la cavidad. Hay otros elementos muy importantes a tener en cuenta en la unidad de inyección como la válvula anti-retorno y la tobera que se explicarán a continuación.

- Válvula anti-retorno

Esta está situada en el extremo de salida del husillo e impide que el material plástico fundido pueda fluir hacia atrás. Las más habituales son las de tipo anillo y deben reemplazarse con frecuencia debido a su gran desgaste, dando problemas de pérdida presión durante el proceso. En la figura 2.12 se puede ver el funcionamiento de una válvula anti-retorno.

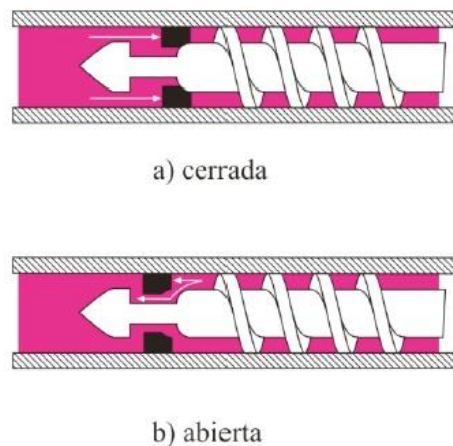


Figura 2.12. Funcionamiento de una válvula de no retorno

- Tobera

La tobera es una pieza que se coloca en el extremo del cilindro de inyección, y realiza la inyección del material fundido hacia los canales del molde. Suele ser distinta según el tipo de polímero utilizado tal como se puede ver en la figura 2.13, por lo que, generalmente, es intercambiable y debe permitir un buen asiento sobre el bebedero y evitar pérdidas de presión.

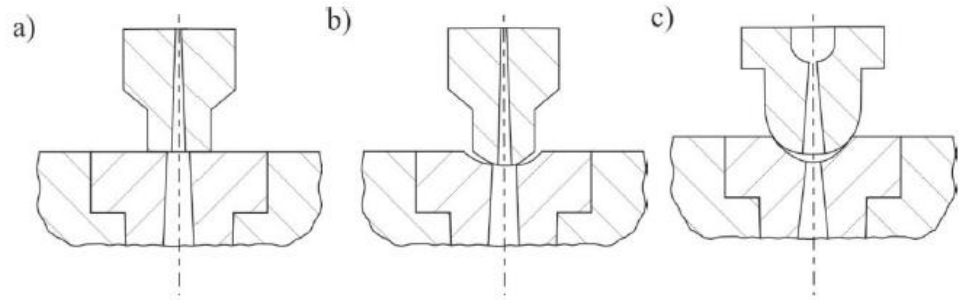


Figura 2.13. Distintos tipos de toberas

La unidad de cierre es la parte que mantiene cerrado el molde cuando es necesario y sus tres funciones más importantes son las de mantener las dos mitades del molde alineadas correctamente, mantener cerrado el molde durante el proceso de inyección y compactación, y las aperturas y cierres que ocurren durante el ciclo de inyección.

Esta consta de dos placas, una que es fija y otra móvil, la cual se mueve gracias a un mecanismo de funcionamiento. Los dos mecanismos más utilizados son los mecánicos y los hidráulicos, aunque se pueden combinar ambos sistemas. La ventaja de los mecánicos es que tienen un funcionamiento rápido y alta fiabilidad, pero pueden provocar deformaciones en el molde, roturas de guías y tienen un coste de mantenimiento elevado. Por otro lado, los sistemas hidráulicos tienen una mejor precisión disminuyendo las deformaciones en el molde y la rotura de guías, pero pueden realizar fuerzas de cierre menores y la realizan a menor velocidad.

A la hora de elegir la máquina de inyección por lo tanto, habrá que tener varios parámetros en cuenta para ajustarla al proceso que va a realizar. Los parámetros más importantes a tener en cuenta son los siguientes:

- **Capacidad de inyección**, que es la cantidad máxima de material que una máquina es capaz de inyectar de una sola vez en un molde a una presión determinada.
- **Capacidad de plastificación**, que es la cantidad máxima de material que la máquina es capaz de plastificar por unidad de tiempo.
- **Presión de inyección**, que es la presión máxima que una máquina puede generar.
- **Velocidad de inyección**, que es el caudal de material que sale de la máquina durante el periodo de inyección y se expresa en cm^3/s .
- **Fuerza de cierre**, que es la fuerza máxima que puede ejercer la máquina para mantener las dos mitades del molde cerradas.

Una vez definido cómo es una máquina de inyección, qué partes son las más importantes y qué parámetros hay que tener en cuenta a la hora de escogerla, el siguiente paso será entender las distintas fases que ocurren a lo largo de un ciclo de inyección. Un ciclo de inyección se podría dividir entre las siguientes fases:

- **Tiempo de cierre del molde**, el cual actúa el sistema de cierre del molde.

- **Tiempo de avance de la unidad de inyección**, durante el cual la unidad de inyección la cual está separada del molde avanza hasta que la boquilla y se posa sobre el bebedero del molde.
- **Tiempo de llenado de inyección**, en el que el husillo avanza realizando la inyección del material. El tiempo necesario para realizar la inyección depende varios factores como el material escogido, la temperatura de inyección de éste, tamaño del molde, sistema de alimentación, etc.
- **Tiempo de compactación**, durante el cual permanece cerrado y el polímero comienza a enfriarse en el molde. Al enfriarse el material, éste se contrae, con lo que se mantiene la presión en el molde para inyectar algo más de material y así contrarrestar el efecto de la contracción. El peso final de la pieza, la estabilidad dimensional y las tensiones internas dependen de cómo se realice esta etapa que finaliza cuando el material a la entrada del molde solidifica.
- **Tiempo de retroceso de la unidad de inyección**, en el que el husillo retrocede comenzando la plastificación del material para el siguiente ciclo ocurriendo a la vez que el enfriamiento de la pieza, apertura del molde y extracción de la pieza.
- **Tiempo de enfriamiento**, necesario para enfriar el polímero que ocupa el molde. Generalmente, se toma este tiempo desde que acaba la etapa de compactación hasta que se abre el molde. Sin embargo, realmente el proceso de enfriamiento de la pieza comienza desde que el polímero toca las paredes “frías” del molde.
- **Tiempo de apertura del molde**, durante el cual se abre el molde.
- **Tiempo de extracción de la pieza**, durante el cual se extraen las piezas moldeadas.
- **Tiempo con el molde abierto**, que generalmente es muy corto a no ser que haya que colocar postizos.

La figura 2.14 muestra la duración aproximada de cada una de las etapas descritas:

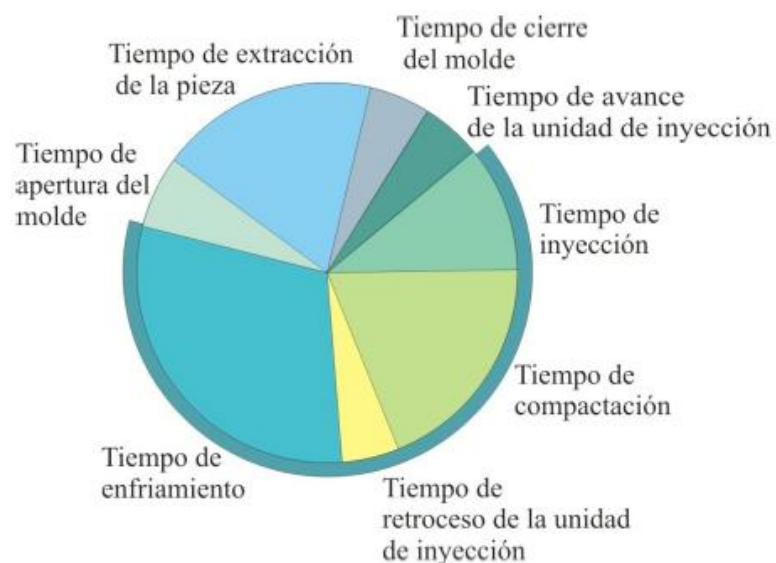


Figura 2.14. Duración relativa de las diferentes fases de un proceso de inyección de plásticos

En la figura 2.15 se puede ver más detalladamente el proceso de inyección.

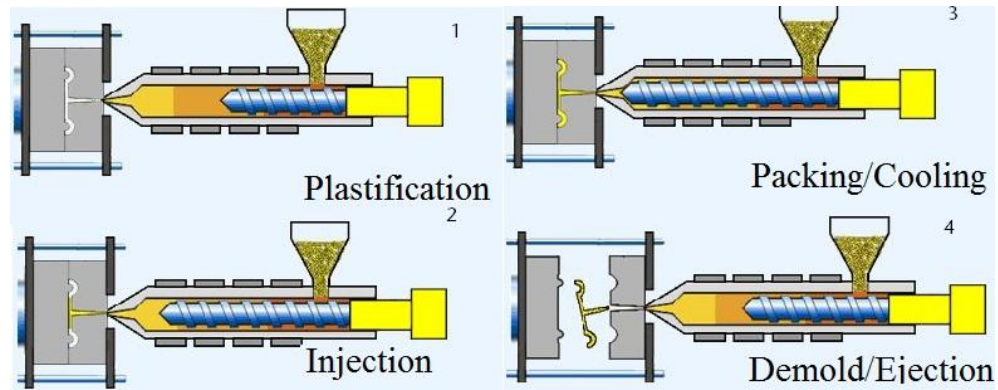


Figura 2.15. Fases de un proceso de inyección de plásticos

Para optimizar el proceso que se va a estudiar, se intentará minimizar los tiempos de proceso que harían minimizar el tiempo de ciclo que son:

- Tiempo de llenado de inyección
- Tiempo de compactación
- Tiempo de enfriamiento

En los molde de inyección además, conviene definir algunas partes que son imprescindibles para realizar el proceso de inyección.

- Bebedero
- Canales de alimentación
- Ataques
- Mazarotas
- Sistemas de expulsión
- Sistema de vientos

El bebedero, los canales de alimentación y ataques son parte del sistema de alimentación del molde y sirven para llevar el material a la cavidad donde será moldeado. El bebedero es la parte donde se apoya la boquilla e introduce el material desde la unidad de inyección al interior del molde. Una vez introducido el material en el molde, el material pasa a los canales de alimentación que se ramifican a través del molde para llevar el material a la cavidad o cavidades donde se moldearan las piezas finales. Una vez que el material llega a la cavidad, éste se introduce a través de unos elementos llamados ataques los cuales adecuan la entrada del material al tipo de pieza que va a conformar. Estos pueden ser de multitud de tamaños y formas tal como se explicará más adelante. Además, dependiendo de la pieza puede haber uno o varios ataques.

El sistema de alimentación, al enfriarse la pieza también se enfría dando un material que se solidifica llamado mazarota. Este material se separa de la pieza o piezas quedando como residuo del proceso. Aún así, en una gran parte de ocasiones

la mazarota se puede volver a fundir y reutilizarla reciclándola y así no desperdiciando material.

Relacionado con los canales de alimentación y mazarotas, hay que aclarar que existen dos tipos de sistemas de alimentación. El primero se denomina sistema de alimentación de canal frío y el segundo de canal caliente. La diferencia entre ambos es que en el de canal frío el material se solidifica quedando como residuo, pero en el caso del de canal caliente, el material que se encuentra en el sistema de alimentación permanece constantemente fundido eliminando la solidificación del sistema de alimentación. De esta manera, no se producen mazarotas eliminando el residuo y desechando menos material. El problema del sistema del canal caliente es su mayor coste respecto al sistema de canal frío ya que necesita un sistema calefactor para mantener el sistema de alimentación sin solidificar, aunque se pueden lograr tiempos de ciclo menores en casos en los que la mazarota se solidifique en más tiempo que la pieza o piezas finales.

Por último remarcar qué son los sistemas de expulsión y sistemas de vientos. Los sistemas de expulsión están formados por unos elementos llamados expulsores que una vez se abre el molde realizan la expulsión de la pieza mediante presión. El sistema de vientos en cambio, está compuesto por unos pequeños orificios llamados vientos que se le realizan al molde para que una vez se introduce el material plástico en la cavidad, se evacuen tanto el aire como los gases que pudieran quedar atrapados. Si no se realizarán los vientos, daría lugar un gran aumento de la presión de inyección que repercutiría en la calidad final de las piezas fabricadas y en el peor de los casos, podría llegar a ocurrir la combustión del oxígeno carbonizando las piezas y dañando el molde.

2.3.2 PROCESOS DE CONFORMADO DE PLÁSTICOS TERMOESTABLES

MOLDEO POR COMPRESIÓN

En este proceso se coloca una preforma de material en el interior de la cavidad del molde que ha sido previamente calentada. Esta preforma puede ser en estado sólido, un volumen predeterminado de material en forma de polvo o una mezcla viscosa de resina líquida y material de relleno.

Es un proceso similar a la forja de materiales metálicos en el que el conformado se realiza aplicando una presión sobre el material mediante un punzón o la parte superior de una matriz. Se suele utilizar con materiales termoestables que están parcialmente polimerizados y habitualmente son materiales que suelen estar reforzados con fibra, aunque en algunos casos puede aplicarse a materiales elastoméricos. Tras realizar la presión, hay que esperar a terminar el ciclo dejando curarse el material y el tiempo depende mucho de las condiciones del proceso variando entre tiempos desde 0,5 segundos a 5 minutos. Además, suele producirse una rebaba que se elimina posteriormente mediante algún proceso de corte. En la figura 2.16 se puede ver las distintas fases del moldeo por compresión [9].

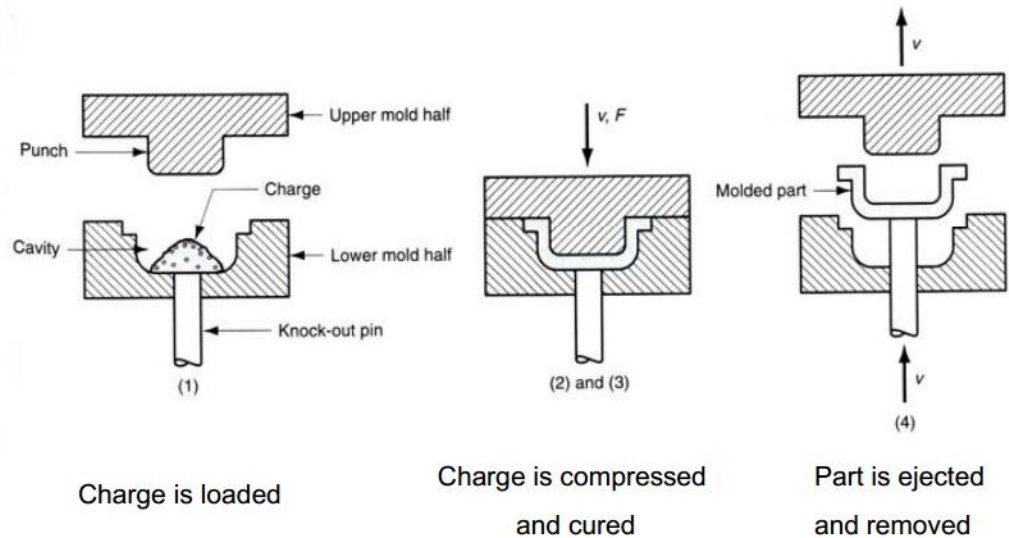


Figura 2.16. Fases de un proceso de moldeo por compresión

La duración del proceso depende de la curación del material, y este depende principalmente de tres factores, el tipo de material, el espesor de la pieza y la geometría de la misma. Existen tres tipos de moldeos en función del proceso de compresión, el moldeo positivo, el semipositivo y con rebaba. El molde positivo está indicado para piezas con un alto valor de densidad, el semipositivo para piezas con un elevado grado de calidad y el moldeo con rebaba suele emplearse en el caso de formas planas o con cavidades poco profundas.

Ejemplos habituales de piezas que se realizan mediante este método son platos, asas, tiradores, tapas, cubiertas, etc.

MOLDEO POR TRANSFERENCIA

El moldeo por transferencia representa una variante desarrollada posteriormente del moldeo por compresión. En este caso, un material polimérico termoestable sin curar se coloca en el interior de una cámara denominada de transferencia. Esta cámara se encuentra a una temperatura determinada, y tras calentar el material plástico a conformar, éste se inyecta en el interior de esa cámara. Como en la inyección, existen unos canales que hacen fluir el material plástico hacia el interior de la cavidad del molde.

Dentro del proceso, se pueden definir 3 fases tal como se puede ver en la figura 2.17. En la primera fase, se introduce el material polimérico en la cámara de transferencia del molde, donde se calentará hasta que alcance la temperatura adecuada. En la segunda fase, se cierra el molde y se produce el llenado de todos los canales y cavidades debido a la presión ejercida por el émbolo de transferencia. Para terminar el proceso, en la última fase se cura el material y se expulsa la pieza mediante expulsores tras haber abierto el molde.

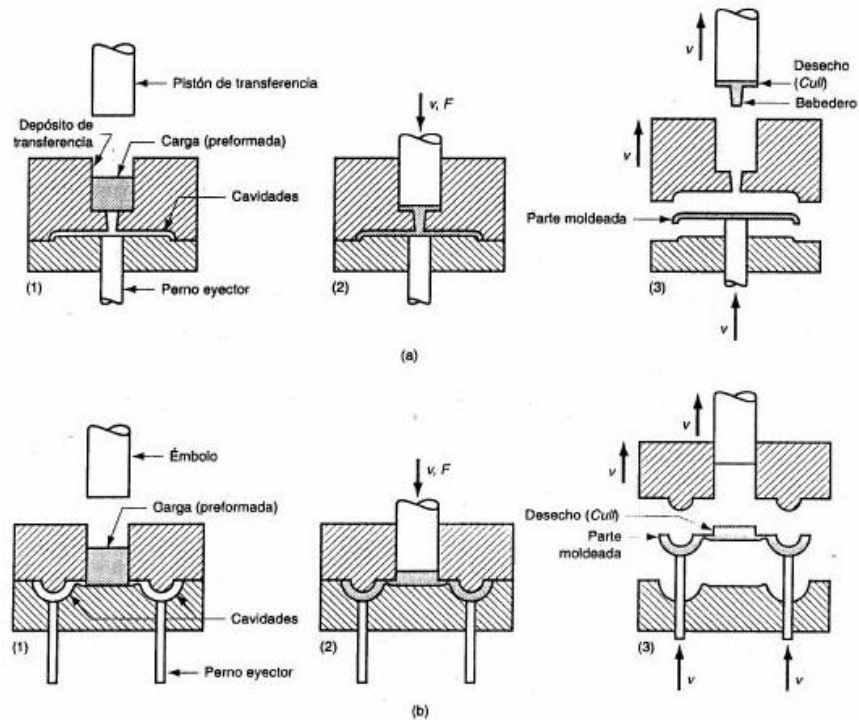


Figura 2.17. Fases de un proceso de moldeo por transferencia

En este caso, la precisión dimensional de las piezas obtenidas es superior al moldeo por compresión pero el coste de los moldes son superiores. Además, la precisión dimensional es algo inferior al que se obtiene mediante el proceso de inyección. Este proceso es especialmente adecuado para fabricar piezas de material termoestable de formas complicadas y que tengan un espesor variable. Como se ha explicado antes, se utilizan unos canales para llevar el material a la cavidad, por lo que este material, al ser enfriado, se convierte en material de desecho que además no puede reciclarse debido a que estamos hablando de materiales termoestables.

Algunas de las aplicaciones para las que es utilizado este proceso es para fabricar componentes eléctricos o electrónicos, para piezas de silicona y piezas elastoméricas.

2.3.3 OTROS PROCESOS DE FABRICACIÓN

Existen otros procesos de fabricación menos convencionales. Su uso es mucho menor, pero tienen ciertos aspectos que los diferencian de los procesos estudiados hasta ahora.

MOLDEO ROTACIONAL

El primero que se va a describir es el moldeo rotacional. Es un proceso de conformado de materiales plásticos que utiliza un molde rotatorio para fabricar piezas de gran tamaño generalmente huecas. Normalmente, se utilizan materiales termoplásticos aunque se puede llegar a aplicar a materiales termoestables e incluso elastómeros. El proceso consiste en introducir el material plástico en el interior de un molde el cual se calienta a la vez que gira mediante dos ejes dando lugar a una fuerza centrífuga que hace que el material se adhiera a las paredes del molde tal

como se puede ver en la figura 2.18. Se obtienen piezas con un espesor uniforme aunque el tiempo de ciclo suele ser largo.

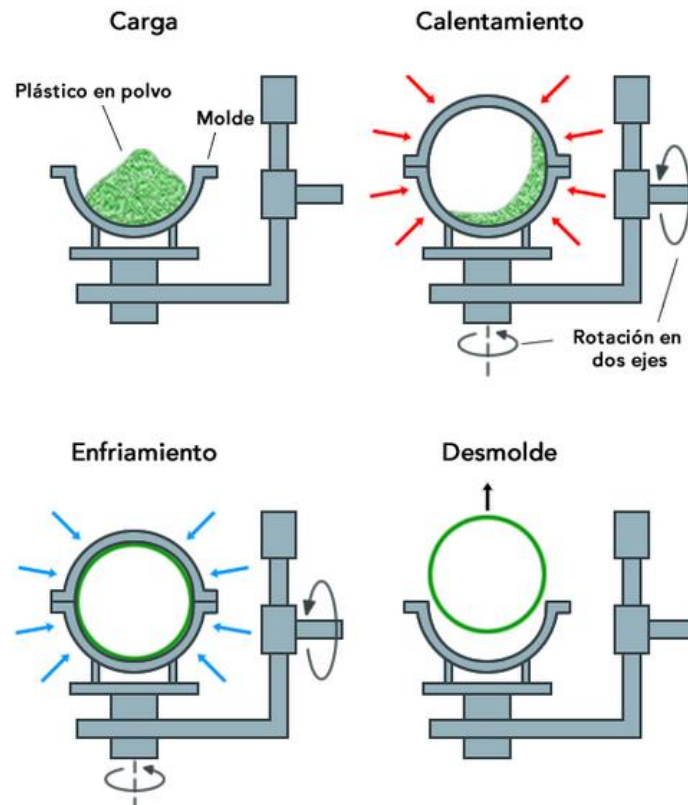


Figura 2.18. Fases de un proceso de moldeo rotacional

Algunas de las piezas más comunes fabricadas mediante este método son contenedores de basura, cascos de barco, cajas de transporte o tanques de almacenamiento.

CALANDRADO

Otro de los procesos poco convencionales del conformado de plásticos es el calandrado. El calandrado se utiliza para la fabricación de láminas y películas de tipo elastomérico o termoplástico. Este proceso consiste en hacer pasar el material inicial a través de una serie de rodillos que van conformándolo y que reducen su espesor hasta un valor determinado, tal como se puede ver en la figura 2.19. El inconveniente de este tipo de procesos es que el coste del equipamiento suele ser elevado pero, por otro lado, la velocidad de producción es muy elevada. Además, es un proceso que tiene un buen acabado superficial y buena precisión dimensional.

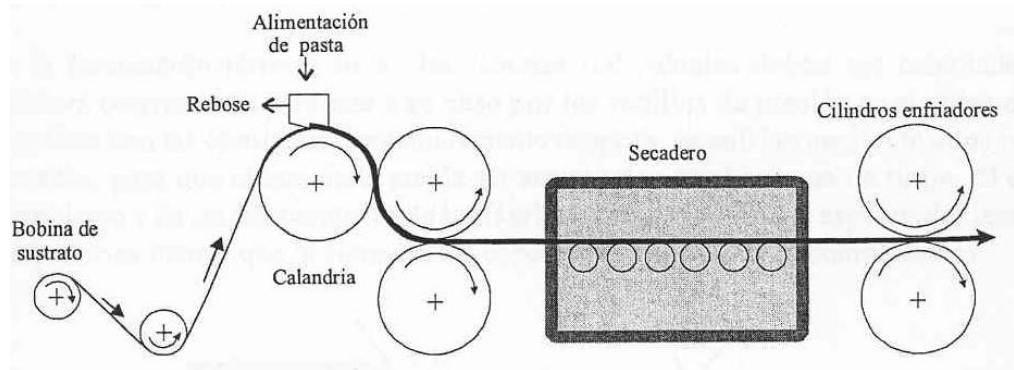


Figura 2.19. Fases de un proceso de calandrado

Entre los productos más habituales que se fabrican mediante este tipo de proceso están las cortinas de los baños, recubrimientos elastómericos para ropa o juguetes.

MOLDEO POR FUNDICIÓN

El siguiente proceso que se describirá es el moldeo por fundición y consiste en vaciar una resina líquida en un molde usando la fuerza de la gravedad para llenar la cavidad del mismo y dejando que el material polimérico se solidifique por sí sólo. En este caso, se pueden conformar tanto materiales termoplásticos como termoestables. En el caso de los materiales termoplásticos hay tres maneras de realizarlo, el primero trata en calentar el material y esperar hasta que solidifique el material, el segundo es por polimerización del material y el tercero es mediante vaciado de un “plastisol”. En el caso de los termoestables en cambio la única manera de llevarlo a cabo es mediante la polimerización teniendo que añadir un catalizador y, en caso necesario, aportándole calor.

Entre los materiales más utilizados en este proceso destacan los acrílicos, poliamidas, o poliestireno en el caso de los termoplásticos, y las resinas epoxi y las fenólicas en el caso de los termoestables. Piezas que se fabrican habitualmente mediante este proceso son engranajes, cojinetes, ruedas, y en general, componentes que requieran tener propiedades de resistencia al desgaste abrasivo.

Por último, resaltar que con el moldeo por fundición es posible realizar un proceso muy importante en el mundo de la electrónica y electricidad llamado encapsulado. Este es un moldeo por fundición en el cual se recubre un componente eléctrico o electrónico con una capa exterior plástica utilizando un molde. Este plástico hace la función de aislante eléctrico, por lo que se utiliza mucho en la fabricación de transformadores y bobinas.

PROCESADO DE ESPUMAS POLIMERICAS

Por último, se explicará como se realiza el procesado de espumas poliméricas.

Las espumas poliméricas son mezclas de materiales poliméricos con gases que proporcionan al material a conformar una estructura porosa y constituida por celdas. Aunque en teoría cualquier material plástico puede ser espumable, los materiales más utilizados en este proceso son el poliestireno y poliuretano aunque

existen otros materiales como el caucho natural o policloruro de vinilo, los cuales también tienen cierto interés en este tipo de procesos.

Las propiedades más características de este tipo de materiales son la baja densidad, una alta resistencia específica y que se comportan bien como aislantes térmicos. Las espumas poliméricas se pueden dividir en tres grupos.

- **Espumas de tipo elastomérico**, que son de elastómero y susceptibles de experimentar una elevada deformación elástica.
- **Espumas flexibles**, las cuales suelen emplear PVC flexible.
- **Espumas rígidas**, en las cuales el material polimérico base es un termoplástico rígido como el poliestireno o un termoestable de tipo fenólico.

Existen distintos mecanismos de espumado para fabricar este tipo de materiales.

- **Mecanismo mecánico**, donde se mezcla el gas con el material plástico agitándolo o introduciéndolo a presión en el interior del polímero.
- **Mecanismo físico**, en el cual mediante un proceso de ebullición un líquido volátil produce la estructura celular del material.
- **Mecanismo químico**, donde la acción del calor sobre el agente espumante libera el gas que forma las burbujas, produciéndose la estructura deseada.

Entre las aplicaciones más destacadas de este tipo de espumas está el utilizarlas como aislantes térmicos, como material de acolchado o para productos que necesiten flotabilidad como pueden ser los salvavidas. Uno de los productos de uso cotidiano que se realizan mediante este proceso son los estropajos como los de la figura 2.20.



Figura 2.20. Estropajo procesado mediante espumas poliméricas

2.4 DEFECTOS MÁS COMUNES EN PIEZAS DE MOLDEO POR INYECCIÓN

Debido a problemas que ocurren durante el proceso, las piezas de inyección están sujetas repetidamente a defectos lo que hace que no se cumplan las especificaciones deseadas con el consecuente rechazo de las piezas. Es importante por lo tanto conocer que defectos existen y como prevenirlos. A pesar de que existen una multitud de defectos que pueden aparecer en los procesos de inyección

de plásticos, se describirán los más importantes y los que aparecen con mayor frecuencia.

RECHUPES

Los rechupes son defectos visuales típicos que afectan al aspecto de la pieza pudiendo incluso afectar mecánicamente. Si mientras el plástico se está contrayendo no se llena la cavidad del molde y si las capas no están todavía suficientemente unidas debido a una falta de refrigeración, se producen unas hendiduras en la superficie de la pieza. Estas hendiduras que se pueden ver en la figura 2.21 se denominan rechupes o “sink marks”, en inglés.

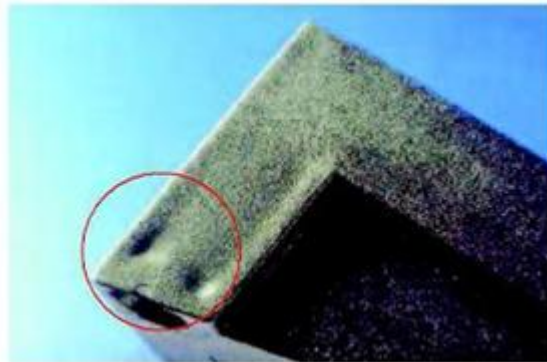


Figura 2.21. Rechupes

En algunos casos puede ocurrir que el rechupe aparezca una vez que se ha extraído la pieza. Esto es debido a que la pieza al ser expulsada todavía tiene el núcleo fundido, y al tener que extraer este calor se crea un estado tensional que se traduce en contracciones en la parte vista de la pieza.

Para prevenir este defecto, hay que prestar especial atención al diseño de los espesores de las paredes para evitar acumulaciones de material manteniendo paredes lo más uniformes posibles además de tener una adecuada refrigeración.

Si el problema persiste se pueden ajustar varios parámetros tales como la temperatura de fusión del material, temperatura de la cavidad, aumentar la presión de compactación, etc.

REBABAS

Las rebabas son una acumulación de material que aparece en localizaciones puntuales de la pieza. Esto ocurre cuando el material fundido fluye a través de partes del molde que no debería. El defecto generalmente es debido a que los vientos son demasiado grandes, la presión es demasiado grande respecto a la fuerza de cierre, la temperatura del material fundido es demasiado elevada disminuyendo la viscosidad de este, etc. Tal como se puede ver en la figura 2.22 las rebabas generalmente aparecen en las líneas partición del molde donde las dos partes del molde se juntan.



Figura 2.22. Rebabas

LINEAS DE SOLDADURA

Las líneas de soldadura ocurren cuando tras dividirse el flujo a la hora de la inyección dos frentes de flujo se vuelven a encontrar produciendo lo que se llama líneas de soldadura. Las líneas de soldadura pueden afectar tanto a partes estéticas donde esta sea muy pronunciada, y dependiendo de las condiciones de la unión puede disminuir las propiedades mecánicas de la pieza en esa zona. Es por ello que hay que intentar minimizar el número de líneas de soldadura, y en caso de no poder, que se de en las condiciones más favorables posibles. En la figura 2.23 se puede ver una línea de soldadura muy pronunciada que sería inadmisibile estéticamente.

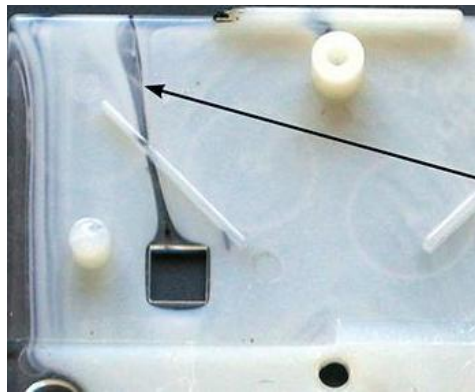


Figura 2.23. Línea de soldadura muy pronunciada

Generalmente, las temperaturas altas de fusión del material, las altas presiones de inyección y una buena ventilación son maneras de minimizar el efecto de este tipo de defectos. Esto es debido a que cuanto antes se unan los distintos frentes y a mayor temperatura, la unión que se cree será mejor. Además hay que intentar que la temperatura del frente de flujos de los distintos flujos sea igual a la hora de la unión.

RÁFAGAS

Las ráfagas son partes donde el material tiene unas marcas tipo quemaduras que son visibles en la superficie de la pieza. Esto ocurre debido a que la temperatura que alcanza el material durante la inyección es demasiado elevada o que el tiempo que está el material en la unidad de inyección antes de ser inyectada es demasiado largo, de manera que el material envejece. También puede ocurrir debido a presiones demasiado grandes aumentando la velocidad de cizalla en zonas estrechas degradando el material.

FALTA DE LLENADO

Al igual que ocurre en la fundición, la falta de llenado es cuando la pieza se solidifica sin haber llegado a llenarse toda la cavidad tal como se puede ver en la figura 2.24. Este efecto puede ser debido a la alta viscosidad del material fundido, por lo que una de las soluciones puede ser incrementar la temperatura o la presión. El efecto también puede deberse a una capacidad de dosificación insuficiente, en cuyo caso será necesario utilizar una máquina con una capacidad mayor.

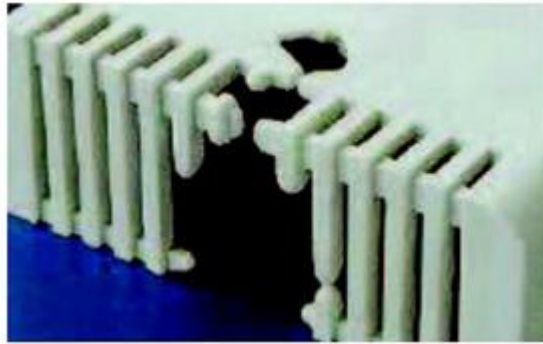


Figura 2.24. Falta de llenado de una pieza

Además, hay que tener cuidado a la hora de diseñar el sistema de alimentación ya que si este tiene unos canales de alimentación demasiado estrechos, estos se pueden solidificar antes de llenar completamente la cavidad del molde.

En caso necesario, se puede añadir una pequeña cantidad de agente espumante para prevenir las contracciones. El tipo y cantidad de agente dependen del tipo de plástico utilizado, y debe de ser determinado por separado en cada caso.

DELAMINACIÓN

Otro defecto que aparece en los moldes de inyección es la delaminación el cual es un desprendimiento de capas a lo largo de una superficie tal como se puede ver en la figura 2.25. Cuando el polímero fundido está sujeto a un esfuerzo de cizalladura excesivo durante la fase de llenado, éste termina deslaminándose por la fricción. Este defecto ocurre principalmente en zonas delgadas y largas de la pieza. Una de las maneras de disminuir la posibilidad de que ocurra este defecto es reducir la diferencia de temperatura entre el material a inyectar y el del molde.



Figura 2.25. Delaminación

Es importante añadir que el fenómeno de delaminación suele ocurrir después de un cierto tiempo de utilización de la pieza. Por esta razón es un defecto difícil de detectar, por lo que hay que estudiar previamente si las condiciones del proceso pueden generar este tipo de defectos.

MARCAS Y DEFORMACIONES POR LA EXPULSIÓN

Las marcas que ocurren debido al proceso de expulsión, son depresiones visibles que aparecen en la superficie de las piezas donde los expulsores ejercen la fuerza. Estas marcas pueden causar diferencias de brillo en la superficie de las piezas.

Las causas más comunes por la que ocurre este tipo de defectos son, un desmoldeo prematuro, fuerza excesiva de los expulsores, localización no adecuada de los expulsores, mal dimensionamiento del molde respecto al sistema de expulsión o que haya grandes diferencias de temperatura entre la superficie del molde y el expulsor.

Cuando estas marcas son demasiado profundas se consideran deformaciones debidas a los expulsores. Es el mismo defecto sólo que más acentuado, y en el caso de haber piezas móviles tales como correderas, pueden ocasionar grandes problemas de desmoldeo.

En la figura 2.26 se pueden ver unas marcas muy pronunciadas debido a los expulsores.



Figura 2.26. Marcas muy pronunciadas por la expulsión

ALABEO

El alabeo o “warpage”, en inglés, es la deformación que ocurre en una pieza a lo largo de un eje. Como es lógico este defecto se acentúa en piezas que tengan grandes longitudes.

Puede haber varias causas que produzcan este defecto, y entre ellas se pueden encontrar que las fuerzas ejercidas por los expulsores sean demasiado elevadas o que al desmoldear la pieza esta encuentre algún obstáculo. Además, hay que controlar la contracción de la pieza dentro de la cavidad, ya que es un parámetro que afecta directamente al alabeo, acentuándose cuando existen mayores contracciones a lo largo de las distintas zonas de la pieza. En la figura 2.27 se puede ver una pieza plástica con un problema de alabeo a lo largo de un eje.

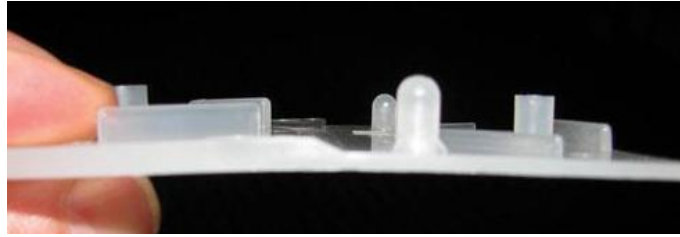


Figura 2.27. Alabeo a lo largo e un eje

Generalmente, cuando existen problemas de alabeo una de las soluciones puede ser aumentar la presión de compactación y aumentar el tiempo de enfriamiento.

2.5 ADITIVOS

En muchas ocasiones los polímeros por si solos no son suficientes para cumplir los requisitos que se le exigen a una pieza. Es por ello que a lo largo de la historia se han creado distintos tipos de aditivos que mezclándolos con el polímero nos ofrecen propiedades únicas. Generalmente, los aditivos se consideran aquellos materiales que se alojan a lo largo de una matriz polimérica sin afectar a su estructura molecular.

La clasificación de los aditivos viene dada según su función, los cuales se identificarán en este apartado. A pesar de que los aditivos mejoran ciertas propiedades, también pueden darse casos en los que a pesar de mejorar una propiedad empeoren otros aspectos. Allí entra la figura del ingeniero para establecer la composición deseada para obtener las propiedades adecuadas.

Otros de los aspectos a tener en cuenta es que los aditivos no deben ser volátiles en las condiciones del conformado de la pieza, ya que si no, éste no surtiría efecto en la pieza final. Por último, decir que un aditivo no debe ser tóxico ni perjudicial para la salud del personal que lo manipule ni para los usuarios, especialmente cuando el material se utiliza en contacto con productos alimentarios, farmacéuticos o empleados en juguetería.

En la siguiente tabla (Tabla 2.1) se puede ver un resumen general de los distintos tipos de aditivos y sus funciones.

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes Cargas reforzantes Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de las formulaciones	Cargas Diluyentes y entendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos Aditivos antideslizamiento Aditivos antidesgaste Promotores de adhesión
Modificadores de propiedades ópticas	Pigmentos y colorantes

	Agentes de nucleación
Aditivos contra el envejecimiento	Estabilizantes contra luz UV Fungicidas
Otros	Agentes espumantes Retardantes de llama

Tabla 2.1. Tipos de aditivos

ESTABILIZANTES

Los estabilizantes son un tipo de aditivo que retardan la degradación que puede ocasionarse debido a factores externos tales como el calor, la atmósfera, radiación UV, etc.

Un buen estabilizante debe ser capaz de controlar los procesos que aparecen durante el uso y descomposición del material, pero a la vez debe tener una buena compatibilidad con el polímero, efectividad a bajas concentraciones o no afectar a otras propiedades entre otros.

Entre los estabilizantes más habituales están los antioxidantes. Los antioxidantes interrumpen las reacciones de degradación de material, evitando la oxidación del polímero que es expuesto a la intemperie.

Otros estabilizantes muy utilizados son los estabilizantes ultravioleta. La energía de la radiación UV que alcanza la tierra puede ser suficientemente elevada para producir la rotura de los enlaces covalentes de los polímeros disminuyendo las propiedades de estos y amarilleando el material. Estos estabilizantes absorben energía a una longitud de onda perjudicial para el polímero y la reemiten a una longitud de onda diferente. Existen materiales con mal comportamiento frente a la radiación UV como el ABS, y otros con mejor comportamiento como el PC.

Por último, se mencionarán otros estabilizantes muy utilizados como son los estabilizantes térmicos. Estos estabilizantes son de gran importancia comercial ya que aunque distintos polímeros tengan una temperatura de procesado alta, la descomposición de estos puede ocurrir muy por debajo. Por lo tanto, es necesario en muchas ocasiones utilizar este tipo de aditivos para que las piezas fabricadas cumplan las especificaciones técnicas exigidas.

La concentración utilizada habitualmente está entre 1 y 6 phr (partes por 100 gramos de resina).

RETARDANTES DE LLAMA

Un retardante de llama es una sustancia que se añade a un material que suprime o retrasa la combustión bajo ciertas condiciones. Generalmente, estos retardantes reducen la facilidad de ignición y la propagación de la llama. Pueden ser sustancias inorgánicas, orgánicas, minerales, compuestos que contienen halógenos, que contienen fósforo, etc.

Los retardantes de llama interfieren en una etapa de la combustión del polímero, eliminándola y así haciendo el efecto deseado. Para ello, tal como se puede ver en

la figura 2.28, existen varias etapas en la combustión en las que se puede incidir. Primero, una fuente externa de calor descompone el material dando lugar a fragmentos volátiles e inflamables tras lo cual, estos elementos se oxidan en fase de gas por el efecto del oxígeno y calor formando los productos de combustión como el humo, los gases y el calor. Pueden existir más etapas pero las principales son las enunciadas anteriormente.

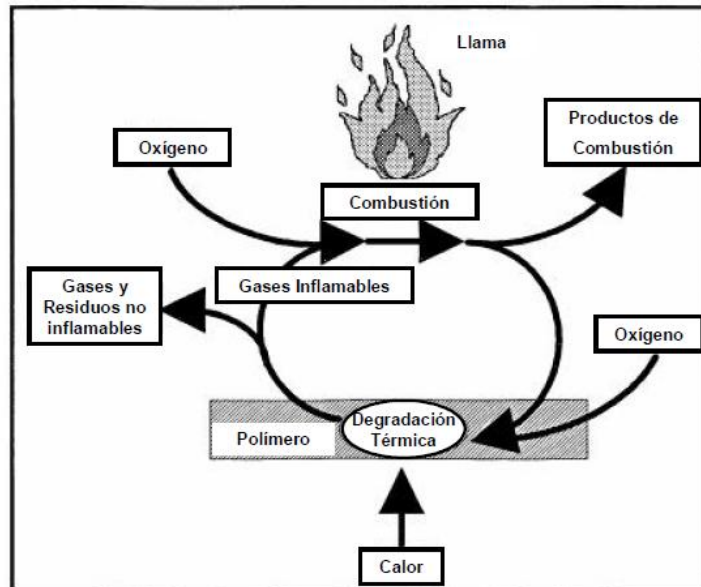


Figura 2.28. Proceso de combustión de un material

En las siguientes imágenes (Figura 2.29 y 2.30) podemos ver el efecto que causa un retardante de llama al aplicarle una sobretensión a un condensador de 450 V. En el caso en el que el polímero tiene un retardante de llama añadido, no llega a ocurrir la combustión mientras que sin retardante de llama sí.

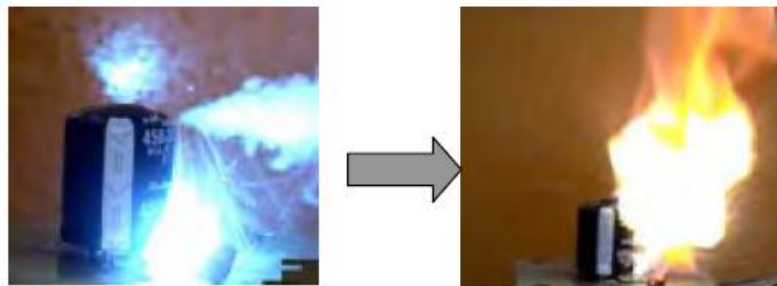


Figura 2.29. Condensador sin retardante de llama que llega a un proceso de combustión

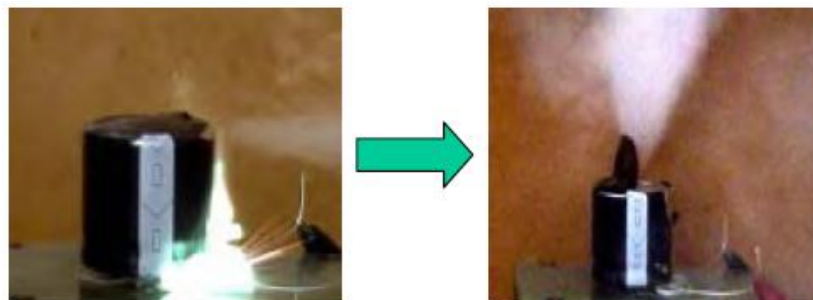


Figura 2.30. Condensador con retardante de llama que se autoextingue

El mecanismo de los retardantes de llama se puede clasificar en varios grupos de manera general:

- Disipación térmica utilizando retardantes que activan procesos endotérmicos que enfrían el plástico a una temperatura inferior a la de ignición.
- La formación de una capa protectora que limita el contacto del material en combustión con el aire. De esta manera, esta capa aislante evita que el oxígeno se mezcle con los gases de la pirolisis y evita la transferencia de calor evitando la retroalimentación.
- Rellenos Inertes y minerales que desprendan gases inertes en descomposición diluyendo el combustible y evitando el contacto con el oxígeno.
- Halógenos y retardantes de llama de fósforo que funcionan mediante interacción química. El retardante se disocia en radicales libres que inhiben la propagación de las reacciones en cadena.

La utilización de retardantes de llama tiene que cumplir tanto las exigencias los de consumidores como legislativas. Por un lado, los productos necesitan cada vez una mayor resistencia al fuego o compatibilidad con nuevos materiales, y por otro lado hay que utilizar retardantes y materiales con un menor impacto medioambiental y potencial de toxicidad. Es decir, cualquier nuevo producto o sistema resistente a la llama será analizado para asegurar que no implica tanto peligro al fuego como para el medio ambiente o la salud. Por ello, estos no deben ser tóxicos, no deben producir gases tóxicos en un incendio ni gases corrosivos y no se deben perder las propiedades de reciclabilidad del material de origen.

Por último, habría que mencionar que existen dos grandes categorías dentro de los retardantes a la llama. Por un lado están los aditivos que se mezclan con el sustrato, y por otro los reactivos que están químicamente enlazados al polímero ya sea por copolimerización o al modificar el polímero de partida. Una de las ventajas de los retardantes reactivos es que pequeñas modificaciones en la estructura del polímero pueden obtener efectos que se obtienen con una alta carga de aditivos. El problema es que para realizar los retardantes de llama reactivos hace falta un estudio previo ya que hay que diseñar la estructura del polímero final antes de la fabricación, resultando mucho más caro en ciertas ocasiones. Por otro lado, los aditivos están físicamente unidos al polímero por lo que la liberación del aditivo vendrá dado por las características específicas de la molécula. De esta manera, son más versátiles a la hora de utilizarlos aunque hay que tener en cuenta la cantidad necesaria para cada uso para que no se difunda fuera del sustrato a la hora del conformado del polímero.

PLASTIFICANTES

Los plastificantes son sustancias que se añaden a un material plástico para aumentar su flexibilidad y facilitar su moldeo. Una de las maneras de realizarlo es disminuyendo la viscosidad del material cuando se funde, aunque existen otras como rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el límite elástico de la masa fundida.

Para expresar la eficacia de un plastificante, generalmente, se suele utilizar el concepto de cantidad de plastificante necesario para alcanzar un valor concreto de una propiedad que se quiere optimizar, por ejemplo la temperatura de transición vítrea. Además, existen plastificantes con distintos grados de eficacia, por lo que en función de la eficacia de cada plastificante, habrá que añadir más o menos aditivo para lograr los valores objetivo.

La concentración utilizada habitualmente está entre 40 y 180 phr (partes por 100 gramos de resina).

CARGAS

Existen dos tipos de cargas en base a la funcionalidad de las mismas. Las cargas reforzantes se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas del polímero, y las cargas no reforzantes son sólidos que se mezclan con los materiales plásticos a conformar para reducir los costes.

Entre las cargas reforzantes, la más utilizada es la fibra de vidrio. Esto es debido a su gran disponibilidad, sus buenas características mecánicas y a su bajo coste.

Existe una gran variedad de fibras de vidrio disponibles en el mercado, en las que priman distintas características, entre las que destacan:

- Aislamiento eléctrico
- Resistencia química
- Alta resistencia mecánica
- Elevado módulo de elasticidad
- Propiedades dieléctricas
- Transparencia a los rayos X

A pesar de que la más utilizada es la fibra de vidrio, existen otras fibras como las fibras de carbono, fibras orgánicas, etc.

Además de las cargas reforzantes, existen las no reforzantes. Idealmente estas cargas no deberían modificar las propiedades mecánicas o comportamiento reológico, y deberían mezclarse homogéneamente con el material. Aún así, en la práctica esto no se suele conseguir y se disminuye el coste de las piezas a costa de disminuir las propiedades mecánicas del material, por lo que suelen ser utilizadas en piezas con bajos requerimientos.

Como es lógico, las cargas no reforzantes deben ser lo más baratas posibles. Otro aspecto importante de estas es la densidad, ya que cuanto menos densa sea, más barata será en un principio. Además, así se podrán lograr piezas con menores densidades siendo un aspecto muy interesante dependiendo de la función de la pieza.

Estas cargas pueden ser de naturaleza muy variada tales como minerales, orgánicas, inorgánicas, etc. Su concentración suele estar entre 5 y 50 phr (partes por 100 gramos de resina).

PIGMENTOS Y COLORANTES

Los pigmentos y colorantes son aditivos que proporcionan un determinado color al material. Estos suelen tener un tamaño de partícula muy fino ya que interesa lograr la mayor homogeneidad posible para así lograr que el color sea homogéneo a lo largo de toda la pieza. Es un tipo de aditivo muy extendido en la industria debido a la gran importancia que puede tener en piezas estéticas y además, existen multitud de ellos.

La clasificación que se suele hacer en función de si son orgánicas o inorgánicas. En el caso de ser orgánicas, estos se suelen llamar colorantes y cuando son sustancias inorgánicas se llaman pigmentos. En la figura 2.31 se pueden ver distintos colorantes que pueden mezclarse con el material.



Figura 2.31. Distintos tipos de colorantes

Los más extendidos son los pigmentos y ,generalmente, suelen ser metales u óxidos de metales. La concentración utilizada suele estar entre 0,1 y 0,5 phr (partes por 100 gramos de resina).

LUBRICANTES

Los lubricantes se utilizan para disminuir las fuerzas de fricción y reducir así el desgaste. Debido a los procesos de transformación del polímero producen fuerzas de fricción elevadas, como por ejemplo, al inyectar piezas que tienen secciones muy pequeñas, se utilizan este tipo de aditivos. De esta manera, se facilita el procesamiento de los materiales plásticos.

La concentración utilizada habitualmente está entre 0,5 y 2 phr (partes por 100 gramos de resina).

MODIFICADORES DE IMPACTO

Los modificadores de impacto aumentan la resistencia al impacto de distintos polímeros. Aunque se puede considerar como aditivo, realmente lo que se suele realizar es mezclar por ejemplo un termoplástico rígido con un elastómero. De esta manera, se obtienen dos fases, una rígida y otra dúctil, minimizando el riesgo de una fractura frágil y dando mayor ductilidad al material.

AGENTES ESPUMANTES

Este tipo de aditivo se utiliza para producir espumas poliméricas. De esta manera, como se ha visto antes se obtienen plásticos espumados con modificaciones en distintas propiedades tales como en la densidad, la conductividad térmica, propiedades dieléctricas y disipación de energía acústica y mecánica.

Existen dos tipos de agentes espumantes, los que actúan mediante procesos físicos y los que actúan mediante procesos químicos. Los agentes espumantes físicos son normalmente líquidos de bajo puntos de fusión que son solubles en las matrices poliméricas, y los químicos son sustancias químicas que se descomponen estando en contacto con el polímero a espumar.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA PIEZA

3. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LA PIEZA

3.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar el diseño se utilizará el programa Solidworks, ya que además de tener que definir la pieza y el material a emplear, se tendrá que definir o diseñar varios apartados que están presentes en el proceso. Estos apartados que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- **Puntos de expulsión**, los cuales realizarán la expulsión de la pieza tras todo el proceso de inyección.
- **Punto(s) de inyección**, el cual me indicará el punto en el que el material se inyecta en la cavidad del molde desde el sistema de alimentación del molde.
- **Sistema de vientos**, los cuales serán necesarios para una correcta extracción del aire que está en el interior del molde.
- **Sistema de alimentación**, que serán los canales que se utilicen para la inyección del plástico en las cavidades del molde.
- **Características del molde**, donde habrá que definir todos los aspectos relacionados con el molde tales como tamaño o material.
- **Circuito de refrigeración**, que es la ruta a través de la cual el agua u otros materiales de enfriamiento fluyen, ayudando con el enfriamiento y la solidificación de la pieza plástica.

Se ha realizado una búsqueda de trabajos de investigación hechos acerca del mecanizado de moldes para inyección de plásticos. De esta manera, se pretende conocer los estudios realizados previamente, qué técnicas se han utilizado para obtener las conclusiones finales y qué logros se han obtenido.

En el estudio de los investigadores Klaus Schützer et al. [10] se ha investigado la influencia de la estrategia de fabricación en la producción de moldes. Para ello, se ha estudiado el proceso completo de diseño y fabricación. Inicialmente, se diseña un prototipo de pieza con diferentes formas en la superficie. A partir del diseño, se simula su proceso de fabricación mediante un sistema CAM, para a continuación conseguir los parámetros de corte. Una vez conocidos estos parámetros, se van combinando de manera diferente para conseguir los mejores acabados posibles en la pieza. Como consecuencia final del trabajo se consiguió destacar que la influencia de la estrategia de fabricación afecta sobre todo en el tiempo de programación CAM y en el acabado superficial.

En el trabajo de los investigadores Taylan Altan et al. [11] se ha analizado las diferentes formas de fabricar los moldes. En dicho trabajo se habla de la importancia que tienen los moldes en la industria en general y sobre todo en la industria de la automoción a la hora de fabricar piezas lo más rápidamente posible. Se llega a la conclusión de que la mejor manera para realizar moldes es la combinación de diferentes procesos como, por ejemplo, el mecanizado convencional sumado con la electroerosión (EDM). Además, también habla de la rapidez con la que se están

consiguiendo mejoras en el mundo de los moldes, ya que con esto se conseguirá que la competitividad aumente.

A pesar de haber intentado conseguir mayor cantidad de artículos sobre la fabricación de moldes, esto no ha sido posible ya que la mayor parte de ellos están relacionados con los parámetros de inyección y a su vez de cómo poder optimizar todos estos parámetros.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA

Este trabajo tiene como objeto diseñar y fabricar un engranaje recto para la utilización en la industria del automóvil. Este engranaje se utiliza en la parte interior de los retrovisores adjunto a una pieza metálica, para que el retrovisor pueda girar. A la hora de diseñar la pieza hay que tener en cuenta sus características, tales como los diferentes diámetros, el número de dientes, el espesor de la pieza, etc. A partir del diseño, se fabricará el engranaje mediante el proceso de moldeo por inyección. Por tanto, habrá que diseñar y fabricar este molde para poder realizar los engranajes de una forma correcta, cumpliendo con los requisitos que sean necesarios.

A continuación, se puede observar el diseño del engranaje realizado mediante un sistema CAD (Figura 3.1). El programa utilizado para dicho trabajo ha sido el Solidworks.

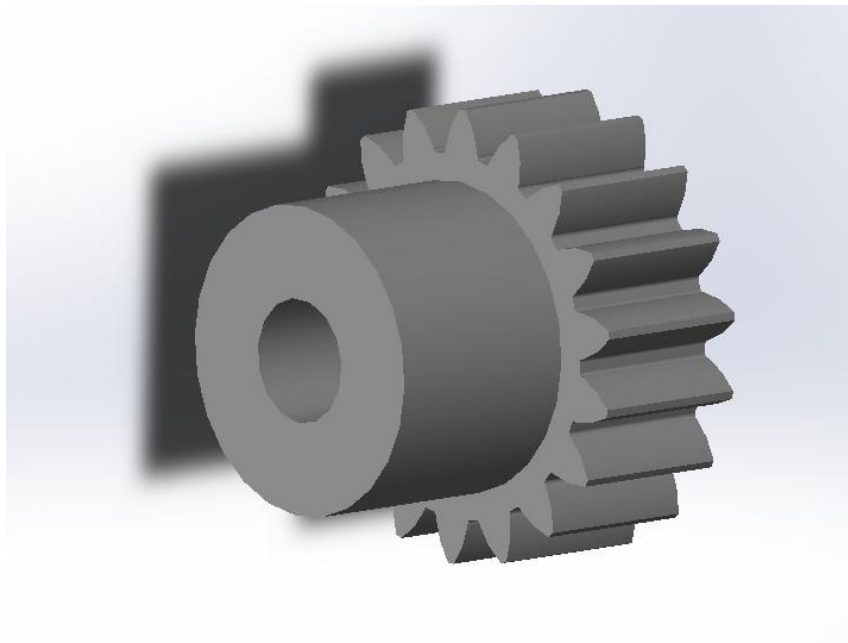


Figura 3.1. Engranaje

Antes de realizar el diseño del molde se debe definir la geometría de la pieza y su acabado superficial. Obviamente, es necesario definir la pieza antes para mecanizar correctamente la cavidad del molde, y también es necesaria definir la rugosidad de la pieza ya que, en función de ella, será necesario o no realizar algún tipo de acabado en el molde como por ejemplo un pulido.

La pieza es una pieza común que se puede encontrar en cualquier catálogo de engranajes rectos. El acabado superficial de la pieza no deberá ser brillante, por lo que no será necesario ningún proceso especial. A continuación, se pueden observar algunos de los datos del engranaje (Figura 3.2). Dicha imagen es parte de un catálogo de engranajes de distintos tamaño y materiales. En él se pueden ver los valores de los diferentes diámetros, el espesor, el numero de dientes, el modulo, etc.

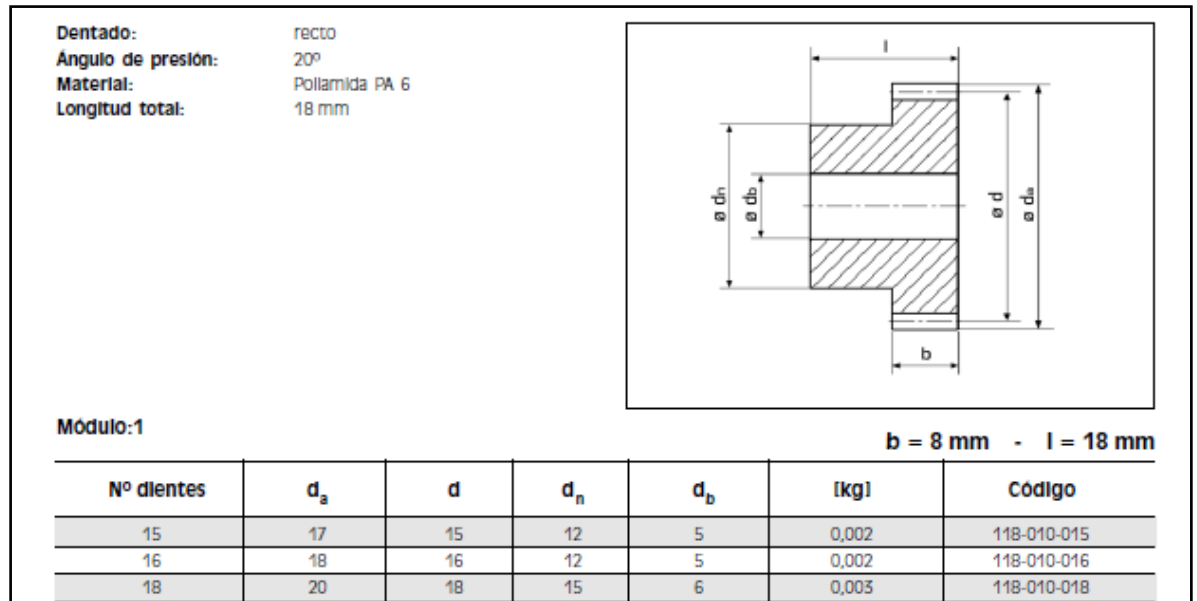


Figura 3.2. Catalogo de engranajes

Las diferentes vistas que definen el engranaje están incluidas en el CD que contiene todos los archivos del proyecto.

El espesor máximo que tiene la pieza es de 18 mm. Este espesor máximo condicionará mucho el tiempo de enfriamiento de la pieza, siendo muy importante la optimización del proceso para lograr minimizar el tiempo de ciclo al mínimo. Ya que este espesor tiene un valor alto, a la hora de diseñar el molde, habrá que tener en cuenta el número de cavidades de este, para conseguir el mayor número de piezas en el mismo ciclo.

3.3 SELECCIÓN DE MATERIAL

En la actualidad, existen más de 40 tipos diferentes de materiales plásticos en uso (sin incluir los elastómeros), y para cada uno de ellos pueden darse hasta 50 formulaciones distintas o grados con pequeñas diferencias en las propiedades. Además, muchos homopolímeros básicos pueden combinarse o mezclarse con otros materiales, como pueden ser los rellenos estabilizantes y refuerzos. Esto dificulta enormemente el trabajo del diseñador, que debe escoger el material mas apropiado entre una lista de miles.

Es por ello que se realizará un pequeño análisis con distintos plásticos para escoger el material más adecuado para el tipo de pieza y su uso.

Como primera selección, sólo se contemplarán materiales de uso general y no ingenieriles. Esto es debido al elevado coste del segundo grupo mencionado, y además las propiedades mecánicas que ofrecen los plásticos ingenieriles no son necesarios para un engranaje de este tipo.

Al ser una pieza que va a soportar esfuerzos mecánicos, las principales características que necesitará cumplir el material serán las siguientes:

- Alta resistencia mecánica
- Elevados valores de resistencia a la abrasión
- Alta dureza

Para ello, será necesario realizar un pequeño análisis de las propiedades mecánicas de cada material. En la tabla 3.1 se puede observar las distintas propiedades para distintos tipos de materiales:

Material	Density kg/m ³	Tensile Modulus GPa	Tensile Strength MPa	Elongation at Break %	Izod Impact Strength (Notched) J/m	Ht Distortion Temp °C	Thermal Expansion 10 ⁻⁶ °C	Thermal Conductivity W/m °C
PP	0.9	1.0 - 1.7	25 - 40	300 - 700	150	50 - 65	100 - 120	0.16
LDPE	0.92	0.1 - 0.7	8 - 10	400 - 650		30	220	0.25
HDPE	0.95	0.7 - 1.4	25 - 40	500 - 800	>1300	50	130	0.31 - 0.35
uPVC	1.38 - 1.40	2.5 - 3.2	35 - 56	20	70	70 - 80	60 - 90	0.12 - 0.14
PS	1.04 - 1.06	3.0 - 3.2	40 - 50	2.5		100	60 - 75	0.12 - 0.13
SB	1.04 - 1.06	2.0 - 2.8	20 - 35	30 - 50		70 - 85	70 - 80	0.12 - 0.13
SAN	1.08	3.5 - 4.2	70 - 84	2.5		80 - 105	75	0.15
PMMA	1.18	2.1 - 2.8	60 - 80	7	40	70 - 100	60 - 70	0.13 - 0.15
ABS	1.02 - 1.07	1.4 - 2.8	21 - 63	75	350	105 - 120	70 - 100	0.13 - 0.2
PA6 (dry)	1.13	2.1 - 3.2	80	50 - 100		60 - 70	60 - 80	0.2 - 0.3
(cond)		0.8 - 1.3	40 - 60	200 - 250				
PA66 (dry)	1.14	3.0 - 3.6	90	10 - 50	53	70 - 110	80 - 100	0.2 - 0.3
(cond)		1.5 - 1.6	60 - 70	160 - 200	112			
POM	1.41	2.9	70	45	75	110 - 125	90 - 110	0.17
PC	1.2 - 1.25	2.4	63	80	700	135	40 - 70	0.14 - 0.16
PET/PBT	1.3 - 1.35	2.5 - 3.0	55 - 75	20 - 100	55	70	80 - 120	0.13
MPPO	1.06	2 - 2.5	45 - 75	70	200	125 - 140	60	0.22
PES	1.37	0.2 - 1.4	70 - 85	60	84	200	55	1.18
PSU	1.24	2.4 - 2.8	70 - 100	80		180	56	
PI	1.42	3.3 - 6.0	75 - 120	8		240 - 360	45	
PTFE	2.1 - 2.3	0.25 - 0.75	10 - 35	425		260	100 - 160	0.25 - 0.5
PEEK	1.3	3.6	92	4		280	48	

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas de materiales plásticos

El material escogido por lo tanto tendrá que tener un módulo elástico alto, y una resistencia mecánica a la rotura alta.

Que cumplan esas características y no sean materiales ingenieriles tenemos el PMMA, PA6, PA66, POM, PC, PET.

De esta selección previa se eliminarán los materiales que sean poco tenaces y/o frágiles ya que el engranaje tiene que soportar esfuerzos mecánicos durante su funcionamiento. Por lo tanto, los materiales poco tenaces y/o frágiles podrían romperse al ocurrir este esfuerzo. Los materiales que no cumplen esta condición son el PMMA, PA66 y POM.

A pesar de que al principio había una gran cantidad de materiales, se ha reducido la lista considerablemente, y habrá que seleccionar sólo uno entre la PA6, PC y PET.

Entre estos 3 tipos de polímeros se pueden hacer dos grupos, amorfos y semicristalinos. El PC es un polímero amorfo, y la PA6 y PET son semicristalinos. Generalmente, los polímeros amorfos son más rígidos y más frágiles e interesa que el material tenga cierta tenacidad. En el caso del policarbonato, aunque éste tiene mayor tenacidad que otros polímeros amorfos, si se verifica la tenacidad a la fractura de los 3 materiales que se están estudiando, en la tabla 2 se puede observar que este tiene una menor tenacidad a la fractura por lo que se descartará (Fuente CES Edupack 2011).

K_{Ic}	PC	PA6	PET
Tenacidad a la fractura ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{0.5}$)	2,2	4,25	4,75

Tabla 3.2. Tenacidad a la fractura

Finalmente, para decidir entre el PET y la PA6, ya que ambas tienen las características exigidas para la pieza, se escogerá el material más barato. Para ello, está la siguiente tabla (tabla 3.3) y gráfica (figura 3.3) del 2013 donde aparecen los precios de distintos termoplásticos con el precio en €/kg.

Denominación DIN	Valor Comparado PE-1000 verde Placa 10 mm
Poliamida PA	1,14
Polióxido de Metilo POM C	1,73
Tereftalato de Polietileno Polyester PET	1.42
Polietileno PE 500	0.74
Polipropileno PP	0,82
Cloruro de Polivinilo PVC rígido	1,24
Cloruro de Polivinilo PVC flexible	1.58
Metacrilato de Polimetilo PMMA	1.06
Policarbonato PC	1.65
Politetrafluoretileno PTFE	5.22
Fluoruro de Polivinilideno PVDF	31.65
Polietercetona PEEK	79.16
Polisulfona PSU	70.01
Polietersulfona PES	77.35
Polieterimida PEI	13.62
Poliimida PI	84.69
Polisulfuro de Fenileno PPS	26.81
Polifenilsulfona PPSU (----
Polibenzimidazole PBI	73.4
Poliamidaimida PAI	79.61

Tabla 3.3. Precios en €/kg de distintos Plásticos en el año 2013

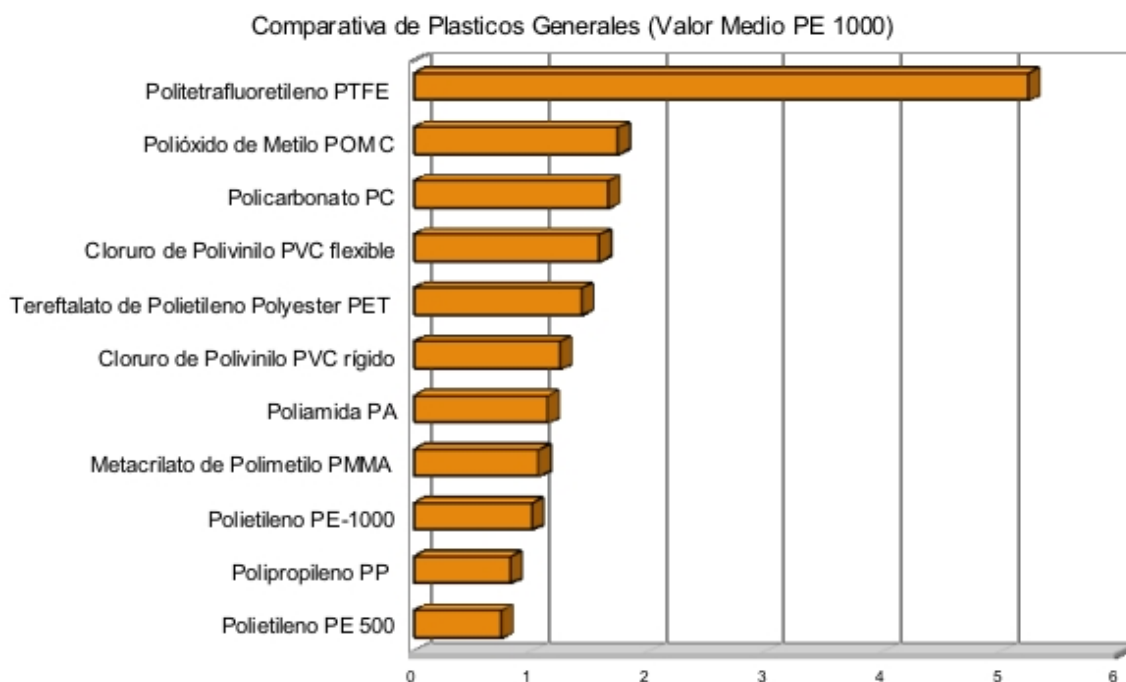


Figura 3.3. Comparativa del precio en €/kg de plásticos generales

Aunque no aparece el precio de la PA6, se puede coger como referencia el precio de la PA ya que aunque la PA6 es algo mas cara, no suele haber gran diferencia entre una y otra. Por lo tanto, mirando la grafica se puede ver claramente que la PA es mas barata que el PET. Mirando más detalladamente la tabla se puede ver que el PET vale 1,42 €/kg y la PA 1,14, es decir el PET vale un 24 % más.

Si se mira en la pagina web Alemana Plasticker [12], podemos ver que el precio de la PA6 sube de media a 1,22 €/kg, lo que significa que el PET es un 16 % mas caro que la PA6.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PA6

La Poliamida 6 es un polímero que fue desarrollado por Paul Schlack en IG Farben para reproducir las propiedades de la poliamida 6,6, sin violar la patente al realizar su producción. Se trata de un polímero semicristalino y su formulación viene dada por la siguiente estructura.

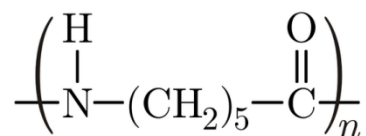


Figura 3.4. Formulación química de la PA6

La Poliamida 6 se puede describir como un termoplástico semicristalino que posee una buena resistencia mecánica, tenacidad, y resistencia al impacto elevadas. Se considera un termoplástico muy dúctil que es además duro. Además, tiene un buen comportamiento al deslizamiento, buena resistencia al desgaste, gran resistencia a los aceites, grasas, disolventes, productos químicos, y a la corrosión, por lo que se utiliza para la sustitución de metales, madera y cristal en la industria.

Su grado de cristalinidad media es del 60 %, y tiene una temperatura de fusión de alrededor de 222 °C siendo su densidad de alrededor de 1,13 g/cm³.

Sus propiedades más importantes son:

- Buenas propiedades de deslizamiento y de resistencia para la marcha en seco
- Alta resistencia mecánica incluso a temperaturas elevadas
- Es resistente al choque, tiene una alta resiliencia y un gran poder amortiguador
- Gran resistencia a la abrasión
- Grado de elasticidad elevado
- Puede ser pegado y soldado
- Alto grado de absorción de agua
- Buena resistencia a aceites de maquinaria, hidrógeno de carbono, disolventes orgánicos y carburantes, pero no a los ácidos concentrados

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN

4. DISEÑO DEL MOLDE DE INYECCIÓN

4.1 PUNTOS DE EXPULSIÓN (EXPULSORES)

ANÁLISIS PREVIO

Sin expulsores, normalmente no es posible expulsar la pieza recién inyectada. La colocación de las espigas de expulsión es casi tan importante como la colocación de la entrada. Estas espigas tienen que empujar la pieza fuera del molde sin deformarla y sin dejar una marca desfavorable en la pieza que pueda influir después en el montaje del subconjunto en el que va montada la pieza o en la estética de esta.

Una razón secundaria de tener expulsores es para ayudar a la ventilación del molde. De esta manera, se pueden lograr vientos en zonas donde en otros casos no sería posible.

Los factores de diseño a la hora de elegir la ubicación de los expulsores son los siguientes [13]:

- Profundidad de la ubicación de los expulsores

Suele ser conveniente que los expulsores estén localizados en los puntos más profundos de los nervios y protuberancias, aunque puede haber casos en los que esto lleve a problemas de deformación de la pieza en función de la geometría de esta.

Si las espigas de expulsión no están localizadas correctamente, la pieza tiene que ser “extraída” de las áreas más profundas del molde, y lo más probable es que se peguen o se deformen durante la expulsión. En la figura 4.1 se puede ver un ejemplo de cómo realizar un correcto posicionado de los expulsores.

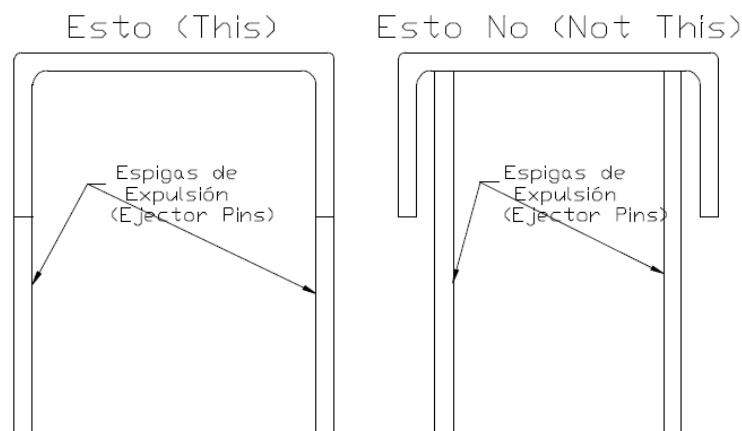


Figura 4.1. Ejemplo de un correcto posicionamiento de los expulsores

- Tamaño de los expulsosores

Una vez que se determina la ubicación de los expulsosores, hay que definir el tamaño de los expulsosores. Los expulsosores que tienen una superficie pequeña, pueden ser problemáticos a causa de su susceptibilidad de romperse, por lo tanto, no se recomiendan los expulsosores muy pequeños. Se recomienda no utilizar expulsosores con un diámetro menor de 2,4 mm. Aunque hay excepciones en los que el diámetro de estos puede ser menor.

Además, cuanto mayor sea la superficie de los expulsosores, a misma fuerza dejarán menor marca en la pieza inyectada. Esto es debido a que la presión ejercida ($P=F/S$) es menor para una misma fuerza, por lo que es mejor colocar expulsosores lo mayores posibles. Aún así, no hay que colocar expulsosores excesivamente grandes ya que estos siempre dejan marcas, y cuanto mayor sea el expulsor mayor superficie dejará marcada, por lo que habrá que encontrar una solución de compromiso.

Otro problema común es que cuando el material fluye alrededor de la espiga de expulsión, se obstruye de modo que se puede romper al accionar los expulsosores.

- Tipo de superficie donde inciden los expulsosores

Generalmente, es preferible tener los expulsosores colocados en superficies planas, pero esto no es siempre posible. En caso de que sea necesario localizar las espigas de expulsión en superficies no planas, estas deberían ser hechas para igualar el contorno de la cavidad. Será necesario enchavetar estas espigas para que mantengan su alineación con el contorno de la cavidad.

SOLUCIÓN ADOPTADA

En el caso de la pieza de este estudio, al ser una pieza interior, es decir, que no se ve, los expulsosores podrán colocarse en la zona vista de la pieza. Estos expulsosores serán colocados en la placa 3 del molde. Cada pieza tendrá cuatro expulsosores para que la fuerza aplicada en la pieza sea uniforme. Estos expulsosores tendrán un diámetro de 1,2 mm cada uno. En la figura 4.2 se puede observar la forma de los expulsosores.

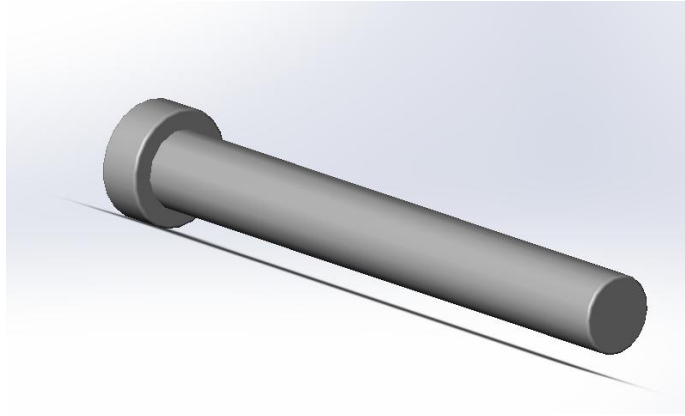


Figura 4.2. Expulsor

4.2 PUNTO(S) DE INYECCIÓN

ANÁLISIS PREVIO

El correcto posicionamiento del punto de inyección es un parámetro importante a tener en cuenta, lo que permite que las partes extremas de la pieza se inyecten al mismo tiempo y con la misma presión mejorando el llenado al obtener una correcta formación del frente de flujo.

El posicionamiento de los puntos de inyección también afecta en gran medida a la orientación del material (Resistencia del material) y alabeo de la pieza. Además, el correcto posicionamiento del punto de inyección también evita problemas como la sobrecompactación, variación de contracción o pegado de la pieza al molde.

Los factores de diseño en relación a la elección del punto de inyección que hay que estudiar para un correcto proceso son los siguientes [14]:

- Punto de inyección centrado

Si se centra el punto de inyección, esto proporciona una longitud de flujo igual para todos los puntos de la pieza. Esto proporciona un mejor resultado en la compactación y una contracción menor, lo que conduce a una pieza de mayor calidad y menor tasa de rechazo.

- Punto de inyección simétrico respecto a la pieza

De esta manera, se logra un flujo equilibrado evitando la contracción y alabeo diferencial posterior de la pieza.

- Punto de inyección en secciones más gruesas

Si se pone el punto de inyección en secciones gruesas, se mejora el llenado y la compactación. Esto hace que el material fluya desde las secciones más gruesas hacia las secciones más finas, ayudando a mantener un buen flujo. El colocar el punto en secciones más delgadas

puede dar lugar a rechupes o incluso que la pieza no se llene completamente por un flujo incorrecto como se ve en la figura 4.3.

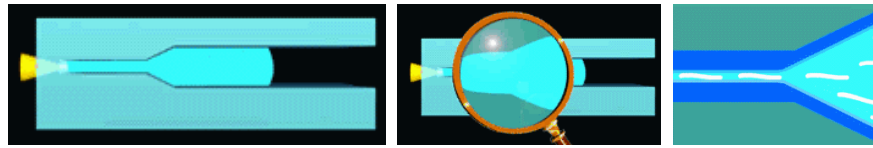


Figura 4.3 .Llenado incompleto al solidificar la zona de entrada de material

También hay que tener en cuenta en colocar los puntos de inyección en lugares donde no afecte a la funcionalidad de la pieza y en caso necesario a la estética de la pieza.

- Punto de inyección en los extremos para piezas largas y delgadas

Cuando se coloca el punto de inyección centrado en una pieza larga y delgada, la compactación en el punto de inyección y la orientación de las fibras en la pieza causará una contracción alabeando la pieza. Por lo tanto, hay que colocar el punto de inyección en un extremo para lograr una correcta orientación de las fibras, aunque esto ocasione problemas como que un extremo de la pieza estará más compactado que el otro ocasionando cierta contracción, pero sin llegar a un alabeo de la pieza tal como se ve en la figura 4.4.

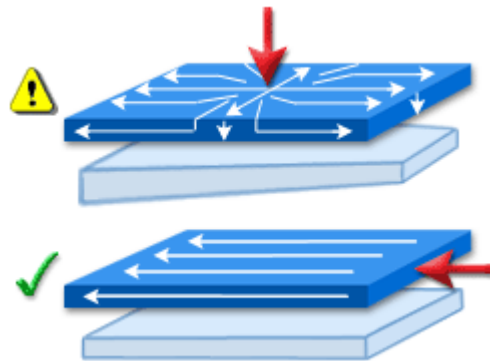


Figura 4.4. Punto de inyección en los extremos para piezas largas y delgadas

- Punto de inyección lejos de las áreas de soporte de carga

La alta presión y la alta velocidad de flujo de material en un punto de inyección provoca que está área quede muy tensionada. Por esta razón, es necesario colocar el punto lejos de las zonas de carga.

- Punto de inyección lejos de las áreas estéticas

En el punto donde se introduce el material a la cavidad, se queda una marca que en ciertas piezas puede ser estéticamente inaceptable. Hay que

colocar el punto en una zona donde no afecte a la estética de la pieza, aunque si hay una zona donde se exige mejor acabado superficial, es conveniente ponerla cerca de esta zona.

- Punto de inyección para una correcta soldadura y evitar líneas de soldadura

Hay que colocar los puntos de manera que el material que fluye desde dos frentes distintos tenga una temperatura suficiente para asegurar la fusión adecuada. En el caso de que aparezcan líneas de soldadura, éstas tienen que aparecer en zonas que no afecten a la funcionalidad de la pieza, que no soporten una carga o que sean aceptables estéticamente.

- Punto de inyección alrededor de zonas débiles

Conviene colocar varios puntos de inyección alrededor de zonas débiles para reducir el desplazamiento o deflexión de esa zona. Estos puntos deben colocarse de manera que el flujo sea equilibrado y la presión ejercida en los distintos frentes sea uniforme.

- Punto de inyección múltiples

Otro aspecto a tener en cuenta es el número de puntos de inyección. Debido a que cada pieza es diferente, no hay ninguna norma específica para determinar el número de puntos de inyección, sin embargo, hay algunos factores generales que deben ser considerados:

- Longitud de flujo

La longitud de flujo se refiere el punto hasta el qué el material debe fluir desde el punto de inyección. Generalmente, en las secciones con más espesor el material fluye más fácilmente que en las secciones delgadas, por lo que suelen ser necesarios menos puntos de inyección tal como se ve en la figura 4.5.

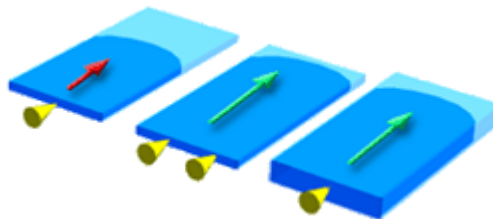


Figura 4.5. Variación de los flujos del material en función de la sección de la pieza y el número de puntos de inyección

A cada material se le asigna su propia longitud de flujo en función de su viscosidad, y los proveedores proporcionan unas hojas de datos que contienen información sobre las longitudes de flujo que se pueden conseguir para cada material en un rango de espesores. Piezas

muy grandes, delgadas y materiales de mayor viscosidad normalmente requerirán más puntos de inyección.

- Volumen de la pieza

Por lo general, las piezas con grandes volúmenes requieren más puntos de inyección para un correcto llenado.

- Posición de los distintos puntos de inyección

En primer lugar, es conveniente colocar un punto de inyección en el centro de la pieza y comprobar que el llenado de la cavidad en las distintas partes de la pieza ocurre más o menos a la vez. Si este criterio no se cumple con un sólo punto, hay que tratar de utilizar varios puntos dividiendo la cavidad en pequeñas sub-cavidades. Las dimensiones del sistema de alimentación deben estar configuradas de manera que cada sub-cavidad se llene en el mismo tiempo y cada punto de inyección tenga la misma tasa de flujo y volumen a llenar tal como se indica en la figura 4.6.

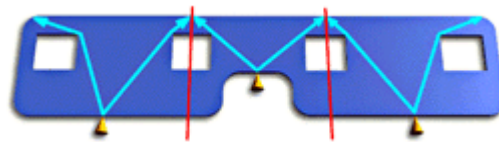


Figura 4.6. Puntos de inyección múltiples y equilibrados

Los puntos de inyección hay que colocarlos de manera que los valores de contracción sean aceptables en la pieza para evitar defectos de pieza. Por otro lado, en piezas en las que hay secciones gruesas y delgadas presentes, es conveniente colocar los puntos de inyección en las secciones gruesas para evitar como se ha visto anteriormente problemas de llenado de pieza.

SOLUCIÓN ADOPTADA

El siguiente paso que hay que realizar es elegir el punto o puntos donde se situará el ataque, es decir, los puntos de inyección.

En el caso de esta pieza, al ser una pieza pequeña, se descarta directamente la posibilidad de colocar más de un punto de inyección. Es decir, la pieza tendrá un solo ataque. Al no disponer del programa Moldflow, para decidir donde colocar el ataque único basado en imágenes de diferentes moldes de engranajes de pequeño tamaño. Se ha decidido colocar el ataque en la zona de mitad superior del engranaje en un punto céntrico para que el material fluya por igual por toda la cavidad.

Para ser más exacto, el ataque estará colocado a 4 mm del centro de la geometría de la cavidad. Tendrá un diámetro de 1,5 mm y cada cavidad constará de un único ataque.

4.3 SISTEMA DE VIENTOS

ANÁLISIS PREVIO

El aire que es desplazado durante la inyección tiene que salir por algún lugar. Para eso existen los vientos, que son pequeños orificios que se le practican al molde alrededor de la cavidad para que el aire que está dentro pueda salir. Estos vientos suelen tener dimensiones muy pequeñas de manera que pueda salir el aire, pero que el polímero que se está inyectado no escape por ahí. Por lo tanto, dependiendo del tipo de polímero que se utilice, los vientos serán mayores o menores. Un polímero con mayor viscosidad podrá tener mayores vientos y uno con menor, menores [15].

A pesar de que no se le suele dar mucha importancia al sistema de vientos, es un aspecto clave en el diseño del molde ya que en caso de que este no sea adecuado podría ocurrir que el aire se quedara atrapado de manera que este se comprimiría. En ese caso, podrían ocurrir problemas como un llenado incompleto de la cavidad, un incremento localizado de la temperatura e incluso la degradación del material debido a muy altas temperaturas.

Normalmente, el diseño de los vientos está limitado por la construcción del molde pero debe ser previamente estudiado. El tamaño de estos es muy importante como es lógico ya que si estos fueran demasiado pequeños, podrían ocurrir los problemas citados anteriormente, y si fueran demasiado grandes podría haber problemas de rebabas.

Las medidas que se suelen utilizar en el diseño de los moldes suele ser la largura, la anchura y el espesor.

En las siguientes figuras, 4.7 y 4.8, se puede ver un ejemplo del diseño de un viento y de un sistema de vientos [16]:

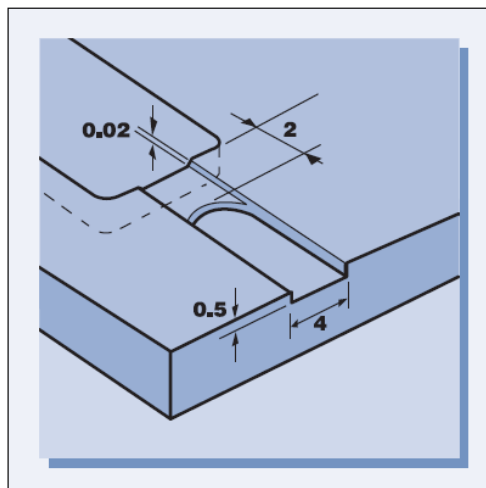


Figura 4.7. Ejemplo del diseño de un viento

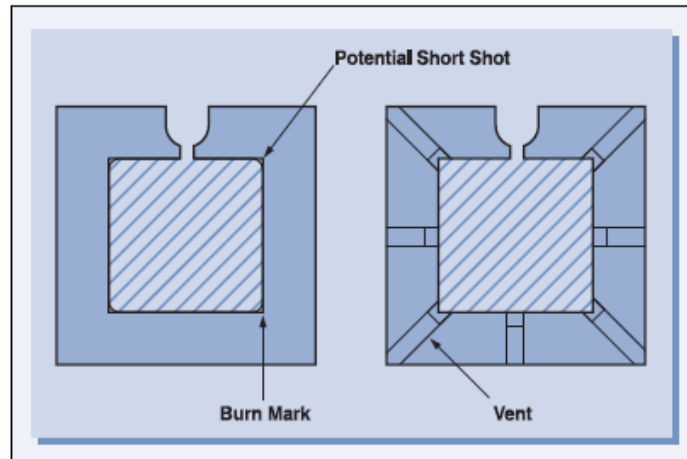


Figura 4.8. Ejemplo del diseño de un sistema de vientos

Los vientos pueden colocarse a lo largo de toda la línea de partición del molde, pero lo lógico suele ser colocarlos donde pueden ocurrir atrapamientos de aire. Por lo tanto, es muy importante colocarlos en la última zona en llenarse de la masa fundida.

Como se ha visto en un apartado anterior, los huecos que quedan entre los expulsores y el molde también pueden utilizarse como vientos, por lo que también hay que tenerlos en cuenta como se ha hecho anteriormente en el diseño del molde.

Finalmente se van a enumerar los defectos típicos que pueden aparecer por un mal diseño del sistema de vientos:

- Quemaduras (Degradación del material)
- Líneas de unión débiles y visibles
- Acabado superficial pobre
- Propiedades mecánicas pobres
- Llenado incompleto, especialmente en secciones pequeñas
- Dimensiones irregulares
- Corrosión local en zonas del molde

SOLUCIÓN ADOPTADA

Como se ha comentado anteriormente, una de las posibilidades a la hora de colocar los vientos es en la zona de los expulsores. Ya que la geometría de las cavidades tiene una forma circular y el llenado se realiza solo en un lado del molde, se ha decidido colocar los vientos en la zona de los expulsores dando a estos una holgura para que el viento del interior pueda salir de esa parte. Suele ser una posibilidad muy utilizada en este tipo de moldes ya que la geometría total está en un único lado del molde, es decir, es en una parte del molde donde se concentra toda la geometría.

4.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Entre los dos sistemas de alimentación existentes (Canal Frío y canal caliente), se ha optado por el tipo de canal frío ya que permite considerar más variables del proceso de inyección como diámetro de los canales, conicidad de estos, etc. pudiendo optimizar el proceso sin tener que utilizar un sistema más caro como el de canal caliente. Por lo tanto, no se consideraran los factores de diseño de los canales calientes.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, el proyecto analizará un molde multicavidad, por lo que el análisis previo se realizará para moldes multicavidad y no moldes de una sola cavidad o moldes con piezas distintas (“moldes familia”).

ANÁLISIS PREVIO

Hay una serie de factores a considerar al diseñar el sistema de alimentación como la ubicación del punto de inyección, número de cavidades, forma del sistema de alimentación y equilibrio del flujo.

El objetivo en el diseño del sistema de alimentación, es diseñarlo con un flujo equilibrado de modo que cada pieza del molde se llene a la misma velocidad. La creación de un sistema de alimentación bien equilibrado requiere considerar cuidadosamente los siguientes elementos:

- Familia. Una cavidad, cavidad múltiple
- Diseño de la cavidad
- Localización del bebedero
- Diseño del sistema de alimentación
- Forma del bebedero, canales de alimentación y ataques

Generalmente, hay que realizar los canales de alimentación lo más cortos posibles, para que la mazarota sea la menor posible.

Como se ha visto anteriormente, en el sistema de alimentación hay varios elementos como el bebedero, los canales de alimentación y los ataques. Los factores que hay que tener en cuenta para diseñar estos son los siguientes:

- Bebedero

La conicidad en el bebedero debe ser lo suficientemente grande para que pueda ser fácilmente expulsado, pero no demasiado grande debido a que el tiempo de enfriamiento y la cantidad de material requerida aumenta junto con el tamaño del diámetro del bebedero.

- Canales de alimentación

Para moldes multicavidad es importante balancear o equilibrar el flujo del material fundido, para que éste llene todas las cavidades simultáneamente y para que las entradas de cada cavidad tengan unas

condiciones semejantes. Un llenado no uniforme puede llevar a que algunas cavidades produzcan piezas buenas, pero otras malas debido a problemas como la sobrecompactación o la falta de llenado como se puede ver en las siguientes figuras 4.9 y 4.10.

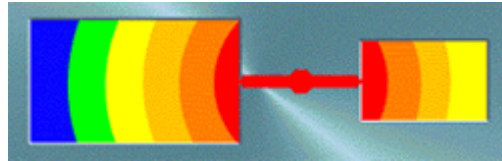


Figura 4.9. Molde multicavidad con piezas distintas con sobrecompactación



Figura 4.10. Molde multicavidad con falta de llenado

Antes de diseñar un molde de múltiples cavidades, se debe analizar cada cavidad individualmente. Una vez que se conoce como se llena cada cavidad, es cuando se diseña el sistema de canales para lograr un flujo equilibrado. La siguiente figura 4.11 muestra una forma convencional de llenado de un molde multicavidad, que podría causar problemas debido a que la trayectoria del flujo para las cavidades exteriores es mucho más larga para las cavidades internas.

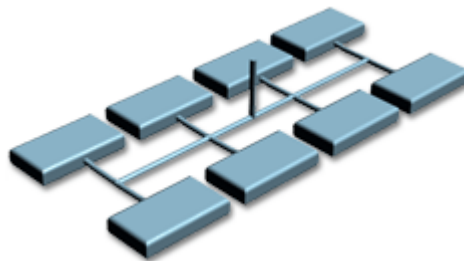


Figura 4.11. Molde multicavidad con flujo NO equilibrado

Para lograr un flujo equilibrado, habría que crear un sistema de canales equilibrado artificialmente utilizando diámetros más pequeños para mover el material fundido a las cavidades más cercanas. Se puede observar esta solución en la siguiente figura 4.12:

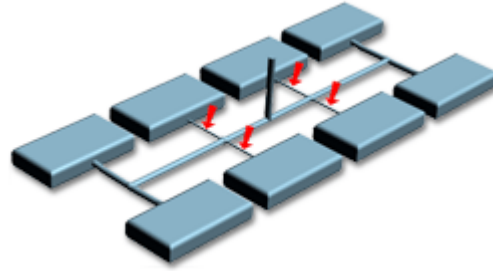


Figura 4.12. Molde multicavidad con flujo equilibrado artificialmente

También existe otro tipo de solución más habitual que consiste en balancear el flujo de una manera natural dándole a todos los canales de distribución la misma longitud y diámetro como se muestra en la figura 4.13. El inconveniente de este tipo es que se desperdicia más material ya que la longitud de los canales es mayor.

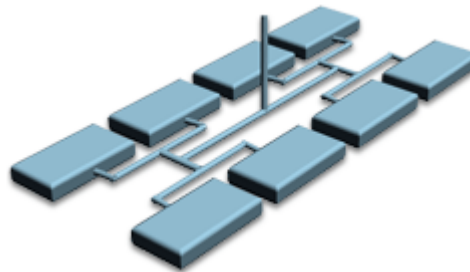


Figura 4.13. Molde multicavidad con flujo equilibrado de manera natural

Por otro lado, la forma y el diámetro de los canales son factores importantes en el diseño de moldes. La forma del canal afecta al volumen de material que permanece fundido, y el diámetro afecta a la temperatura de la masa fundida en los canales. También hay que tener en cuenta la longitud de los canales.

- Forma de los canales

La forma de la sección transversal de los canales afecta al flujo del polímero a través de los canales. Cuando la masa fundida caliente golpea el frío metal de un canal se solidifica formando una “piel” en la superficie del canal. El centro del canal permanece fundido mientras que el polímero se inyecta en el molde. La figura 4.14 muestra el núcleo fundido de diferentes tipos de canales.

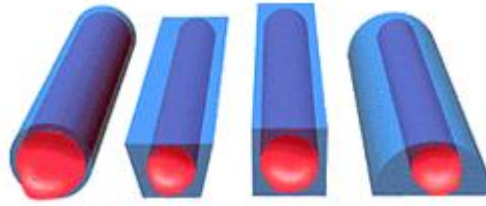


Figura 4.14. Núcleos fundidos de distintos tipos de canales de alimentación

Una sección transversal circular proporciona la mayor proporción de material en un estado fundido. Los canales con una sección transversal curvada o angular en cambio requieren menos fuerza para retirar del molde que los corredores rectangulares o cuadrados.

Aunque los canales circulares son la mejor opción para el flujo de material y su expulsión, también son los más caros. Esto es debido a que el canal tiene que estar muy bien mecanizado para que cuando las dos mitades del canal coincidan, coincidan perfectamente.

Por otro lado, una sección transversal trapezoidal se puede utilizar como una solución de compromiso, ya que a menudo proporcionan un flujo aceptable y buenas características de expulsión, y son más baratas de producir que los canales redondos.

Si se decide utilizar un canal circular, como se ha dicho anteriormente, hay que tener mucho cuidado alineando las dos mitades para evitar un aumento de presión de inyección debido a la reducción del flujo eficaz de la sección transversal. En la siguiente figura 4.15 se ve como el canal de la izquierda está bien alineado, y el de la derecha mal:

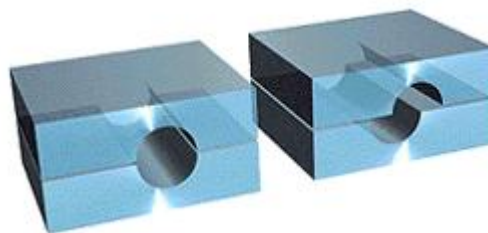


Figura 4.15. Correcta e incorrecta alineación de dos canales circulares

Las formas de los canales que se utilicen tendrán que tener formas suaves para que la pérdida de carga sea la menor posible.

- Diámetro de los canales

Un diámetro pequeño del canal puede causar un calentamiento por cizalladura en los canales por lo que la temperatura del plástico es

mayor en los canales que en el barril¹. Por otro lado, mayores temperaturas de fusión reducen los niveles de tensiones residuales y la tendencia de la pieza a deformarse, pero las altas temperaturas del barril pueden causar la degradación del material.

Desde el punto de vista de ahorro económico, para minimizar el desperdicio de material, se recomienda diseñar los canales con una pequeña área de sección transversal.

Al estar conectados los canales con los ataques, hay que tener ciertos aspectos en cuenta. Los cambios de los diámetros entre los canales y ataques deben ser graduales para evitar problemas como un aumento de la presión de inyección, inestabilidades del flujo o rápidos cambios en la resistencia al flujo.

El diámetro al condicionar la sección de los canales, también afectará al enfriamiento de los canales, por lo que cuanto menor sea, el enfriamiento será más rápido. Por otro lado, el dimensionamiento de estos canales tiene que ser adecuado porque hay que mantener el flujo hasta terminar la presión de compactación. Este diámetro también puede venir limitado por el material a utilizar en el proceso de inyección, ya que cada material tiene unas características distintas.

- Longitud de los canales

La longitud de los canales nos condiciona dos propiedades. La primera es el enfriamiento, ya que cuanto mayor longitud tengamos en los canales de alimentación el enfriamiento puede ser mayor. La segunda propiedad es la carga, donde si se diseña unos canales demasiado largos puede haber una pérdida de la carga dando problemas en el llenado de las cavidades.

- Ataques

A la hora de diseñar los ataques, hay que tener los siguientes factores en cuenta:

- Aspecto final de la pieza moldeada
- Eliminación de la entrada
- Complejidad de la cavidad
- Material utilizado
- Volumen de material inyectado en la pieza

En cuanto al aspecto de la pieza, para las piezas donde la apariencia es importante, los ataques deben ser pequeños para prevenir las marcas grandes en la superficie de la pieza, y un menor ataque también hará más fácil el desmazarotado.

¹ Parte cilíndrica de la unidad de inyección, dentro del cual se encuentra el husillo.

Conviene hacer ataques cortos y evitar ángulos agudos entre estos y los canales para así evitar grandes caídas de presión. La forma transversal de los canales de alimentación condicionan la forma de las entradas y conviene hacer las esquinas redondeadas para que el flujo del material no se vea perjudicado.

Para los sistemas de alimentación de canal frío existen distintos tipos de ataques, y estos se pueden clasificar en 2 familias: ataques recortados manualmente y automáticamente. A continuación, se hace un breve resumen de los distintos tipos:

- Ataques recortados manualmente

Los ataques, pueden tener muchas configuraciones diferentes, pero primero se clasifican basándose en el método de eliminación de estos, que puede ser manual o automático. Los ataques que son recortados manualmente requieren que un operador separe estos de los canales de alimentación.

Los ataques recortados manualmente, se utilizan por las siguientes razones:

- El ataque es demasiado grande para ser recortado cuando se abre el molde.
- Algunos materiales sensibles al cizallamiento como el PVC, no pueden ser utilizados a altas tensiones de cizalladura que no sean requeridas por el diseño de la pieza.
- A veces hace falta una distribución de flujo simultánea a lo largo de una sección gruesa para lograr una específica orientación de las fibras.

Los distintos tipos de ataques recortados manualmente para canal frío son las siguientes:

- Ataque directo o tipo bebedero

Este tipo de ataques son muy sencillos y se utilizan generalmente para moldes de una sola cavidad, donde la entrada introduce el material directamente y rápidamente en la cavidad con una mínima caída de presión como se muestra en la figura 4.16.

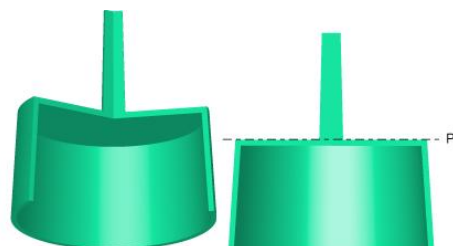


Figura 4.16. Ataque directo o tipo bebedero

La desventaja de este tipo de ataques es la marca que queda en la pieza después de que la entrada se recorta. Normalmente, la contracción en la zona cercana a la entrada será baja, pero alta en la entrada. Esto conlleva a tener una alta tensión en los alrededores del ataque.

Una conicidad pequeña puede ocasionar problemas en la expulsión del ataque, y una gran conicidad provoca mayor pérdida de material y un tiempo de enfriamiento mayor.

- Ataque tipo disco

Estos ataques se utilizan mucho en piezas de revolución que tienen un diámetro interior grande. Es sobre todo muy útil cuando la concentricidad de la pieza es un requisito importante de la pieza. Un inconveniente en este tipo de entradas es que son difíciles de recortar de la pieza aunque tienen como ventaja la ausencia de líneas de soldadura. En la siguiente figura 4.17 podemos observar una entrada de este tipo:

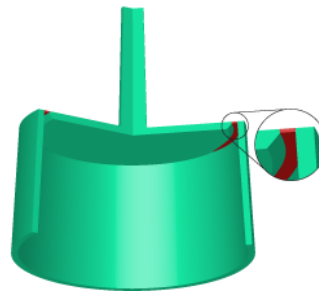


Figura 4.17. Ataque tipo disco

- Ataque lateral

Este tipo de ataques se colocan en la línea de partición del molde como se puede ver en la figura 4.18. La sección transversal del ataque suele ser rectangular. Es una entrada sencilla y económica y además fácil de modificar en caso necesario.

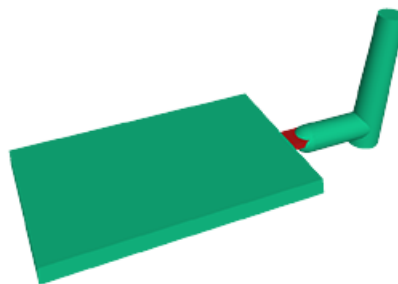


Figura 4.18. Ataque lateral

- Ataque tipo abanico

El ataque tipo abanico es una entrada ancha con espesor variable que permite el llenado rápido de grandes piezas o la colocación en secciones del molde grandes y frágiles. Estos ataques se utilizan para crear un flujo uniforme donde la estabilidad dimensional y evitar el alabeo son dos de los principales requisitos. Además, tiene un llenado rápido.

Tal como se muestra en la figura 4.19, la anchura del ataque aumenta uniformemente para asegurar lo siguiente:

- La velocidad del flujo será constante a lo largo de la pieza.
- Se utiliza toda la anchura para inyectar el material
- La presión es la misma en toda la anchura

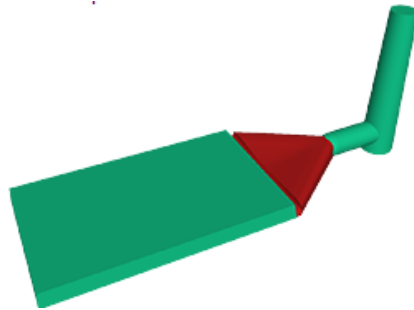


Figura 4.19. Ataque tipo abanico

- Ataque tipo membrana

Consiste en una entrada a lo largo del ancho de la cavidad o parte de la cavidad como se ve en la siguiente figura 4.20:

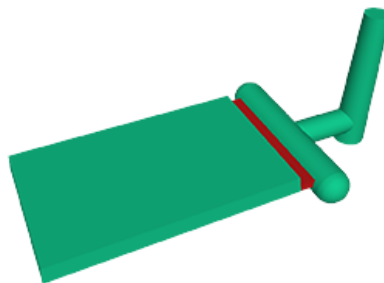


Figura 4.20. Ataque tipo membrana

Se utilizan con los mismos objetivos que las entradas abanico, utilizándose para piezas con paredes muy delgadas y grandes piezas planas, pero son más difíciles de optimizar ya que las áreas de la entrada pueden pegarse. Son muy sensibles al espesor de

entrada, diámetro de los canales y al flujo, aunque el llenado de la cavidad es rápido.

- Ataque lateral superpuesto

El ataque lateral superpuesto es muy parecido al lateral, solo que una parte de la entrada se superpone sobre la pieza como se muestra en la figura 4.21. Se utiliza para piezas con paredes gruesas y piezas planas grandes obteniendo un llenado rápido.

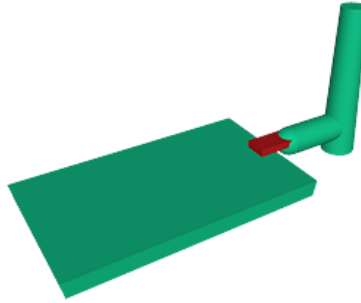


Figura 4.21. Ataque lateral superpuesto

- Ataque tipo anillo

Con este tipo de ataque, el material fluye libremente alrededor del núcleo antes de que descienda como una extrusión de un tubo llenando el molde como se muestra en la figura 4.22. Se utiliza para la inyección de piezas de revolución, y tiene como ventaja evitar las líneas de soldadura.

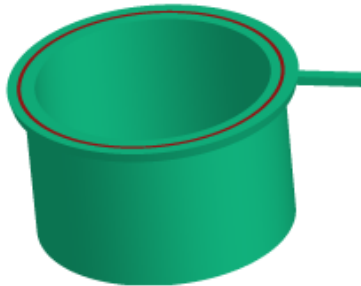


Figura 4.22. Ataque tipo anillo

En la práctica es difícil de lograr este tipo de ataques porque tienden a pegarse. Debido a su geometría es un tipo de ataque que si no es correcto tiene mucha influencia en el llenado uniforme.

- Ataque tipo estrella

Este tipo de ataques (Figura 4.23) se utilizan para piezas tipo tubulares y ofrece una fácil eliminación de la entrada y ahorros de

material. Los inconvenientes que tiene son las posibles líneas de unión que aparecen al haber varios puntos de inyección, y que no se logra una concentricidad perfecta.

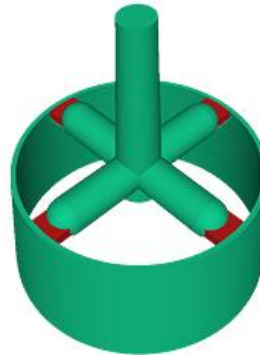


Figura 4.23. Ataque tipo estrella

- Ataque con lengüeta

Los ataques con lengüeta, se utilizan para piezas que tienen que tener una tensión de cizallamiento baja ya que estas tensiones se generan en la entrada y son recortadas para extraer la pieza. Este tipo de ataques (Figura 4.24) se utilizan frecuentemente para la inyección de materiales como PC, Acrílicos, SAN y ABS, y producen un flujo más uniforme y caliente reduciendo las deformaciones.

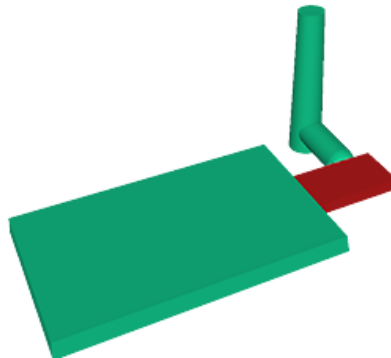


Figura 4.24. Ataque con lengüeta

- Ataques recortados automáticamente

Este tipo de ataques incorporan unos elementos que recortan las entradas de las piezas de manera que cuando abre el molde, se pueden expulsar libremente las piezas inyectadas. De esta manera, se evita una operación adicional de recorte de la entrada de la pieza y, además, se suele disminuir la marca que aparece en el punto de inyección.

Los distintos tipos de ataques recortados automáticamente son los siguientes:

- Ataque tipo pin

Este tipo de ataques se utilizan en diseños de moldes de tres placas donde el sistema de alimentación está en una primera línea de partición y la pieza separada en una segunda línea de partición. Las entradas a la cavidad desde los canales de alimentación están paralelas a la dirección de apertura del molde tal como se muestra en la figura 4.25.

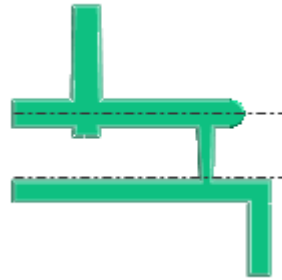


Figura 4.25. Ataque tipo pin

Para extraer las piezas y la mazarota del molde, primero se abren las dos placas que unen el ataque con la pieza separando la pieza del ataque y ,a continuación, se abre la siguiente placa expulsando los canales de alimentación.

- Ataque submarino

Un ataque submarino se utiliza en la construcción de moldes de dos placas. Este tipo de ataque, es una entrada cónica a la que se le da un ángulo desde los canales de alimentación justo por debajo de la línea de partición del molde como se muestra en la siguiente figura 4.26:

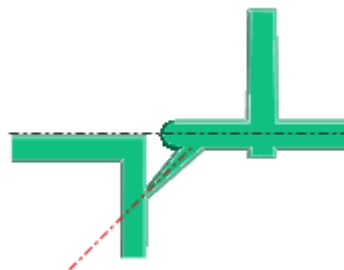


Figura 4.26. Ataque submarino

Cuando se expulsa la pieza y los canales de alimentación, el ataque se recorta automáticamente.

Es muy útil en piezas donde se quiere realizar la inyección en la parte no vista de una pieza haciendo la marca de entrada no visible como se muestra en la siguiente figura 4.27.

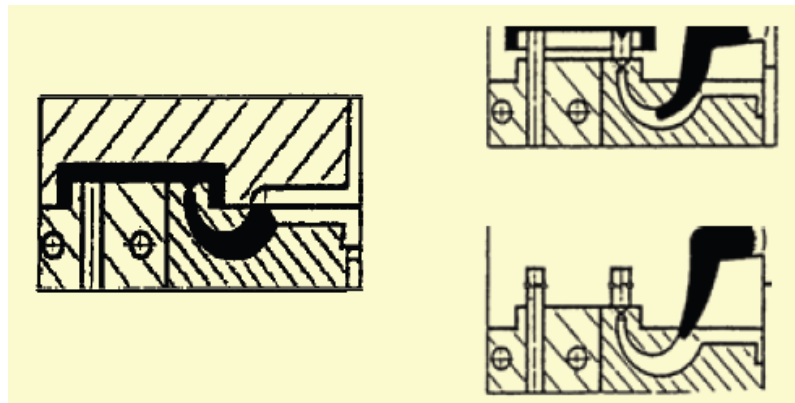


Figura 4.27. Ataque submarino con entrada interior no visible

Múltiples ataques submarinos en el interior de una pieza cilíndrica puede sustituir a un ataque tipo disco incorporando el recorte automático de las entradas de la pieza. La calidad dimensional inyectando piezas cilíndricas de esta manera no es tan buena como con entradas tipo disco pero a menudo suelen ser aceptables.

SOLUCIÓN ADOPTADA

Lo primero que hay que decidir es el tipo de sistema de alimentación que se va a utilizar, si de canal frío o canal caliente. Como he explicado anteriormente, el sistema de canal caliente nos va a ofrecer tiempos de ciclo menores y no se va a producir mazarota, pero por otro lado es un sistema más complicado y sobre todo más caro. En este caso, la solución que se ha optado es la de canal frío para abaratar los costes del molde y, a posteriori, intentar minimizar los tiempos de ciclo.

El siguiente paso a decidir es el número de cavidades del molde. A mayor número de cavidades las piezas producidas por hora será mayor por lo que interesa diseñar el molde con el máximo número de cavidades siempre que sea necesario. Por otro lado, cuantas más cavidades tenga el molde, más caro será el molde y se necesitará una máquina de inyección que de mayores presiones para poder llenar bien todas las cavidades. En este caso, se ha decidido diseñar el molde con 8 cavidades, pero no debido a ningún criterio de los que se ha mencionado, si no debido al tamaño de la mazarota. La pieza que se va a inyectar es una pieza pequeña, por lo que si se ponen muchas cavidades, tendrá que aumentar las secciones de los canales de alimentación y además, se tendrán que diseñar más canales y más largos. Esto llevará a que en un sistema de canal frío, la mazarota aumente de tamaño y por lo tanto de material, y aunque es un residuo que se puede fundir volviendo a utilizarla interesa minimizarla. Es por ello que se considera que un molde de 8 cavidades es adecuado para esta pieza. En la figura 4.28 se puede observar como han sido divididas las 8 cavidades de los engranajes. Al ser 8 cavidades en una circunferencia de 360 °, cada cavidad se encuentra a 45 ° de la

anterior. Este tipo de reparto de cavidades, el circular, es el ideal para que el material fundido llegue de forma constante a todas las cavidades.

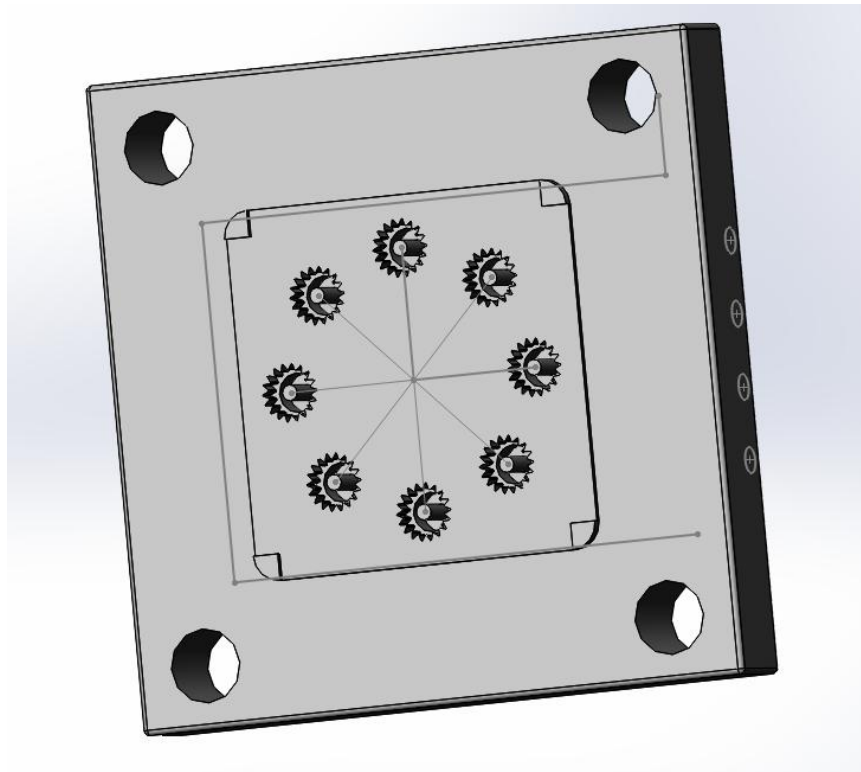


Figura 4.28. Reparto de cavidades en el molde

Una vez escogido el tipo de sistema de alimentación y número de cavidades, antes de diseñar los canales y el bebedero, se va a escoger el tipo de ataque ya que en función de este se creará un sistema u otro. Para esta pieza, se ha escogido un tipo de ataque de tipo pin. Este tipo de ataques se utilizan en diseños de moldes de tres placas donde el sistema de alimentación está en una primera línea de partición y la pieza separada en una segunda línea de partición. Las entradas a la cavidad desde los canales de alimentación están paralelas a la dirección de apertura del molde.

Para extraer las piezas y la mazarota del molde, primero se abren las dos placas que unen el ataque con la pieza separando la pieza del ataque, y a continuación se abre la siguiente placa expulsando los canales de alimentación.

El ataque comenzaría en la parte superior de la placa 2 del molde y llegaría hasta la parte inferior de esta atravesándola por completo con una forma cónica. Al inicio tendría un diámetro de 15 mm y en la zona de ataque este disminuiría hasta los 1,5 mm. En las figuras 4.29 y 4.30 se pueden apreciar la forma de los ataques.

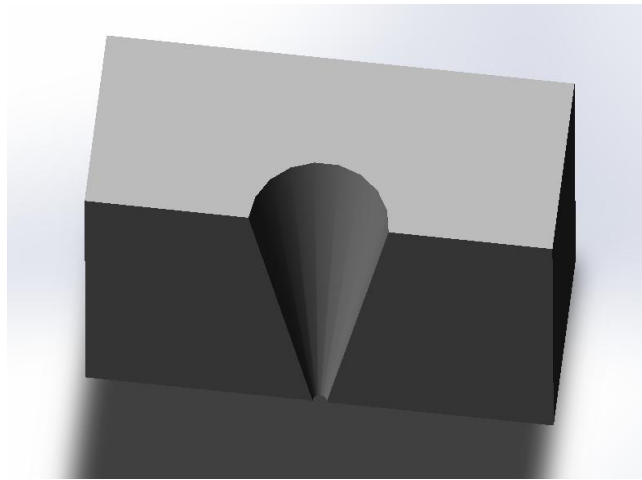


Figura 4.29. Ataque cónico

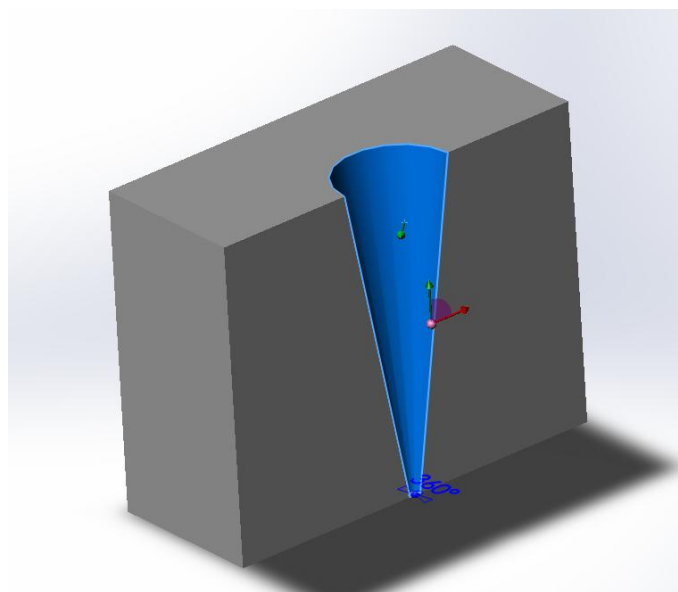


Figura 4.30. Ataque cónico

En la siguiente figura 4.31 se muestra la placa del molde donde estarían situados estos ataques. Los puntos que se aprecian en los círculos, son los ataques que llenan la cavidad.

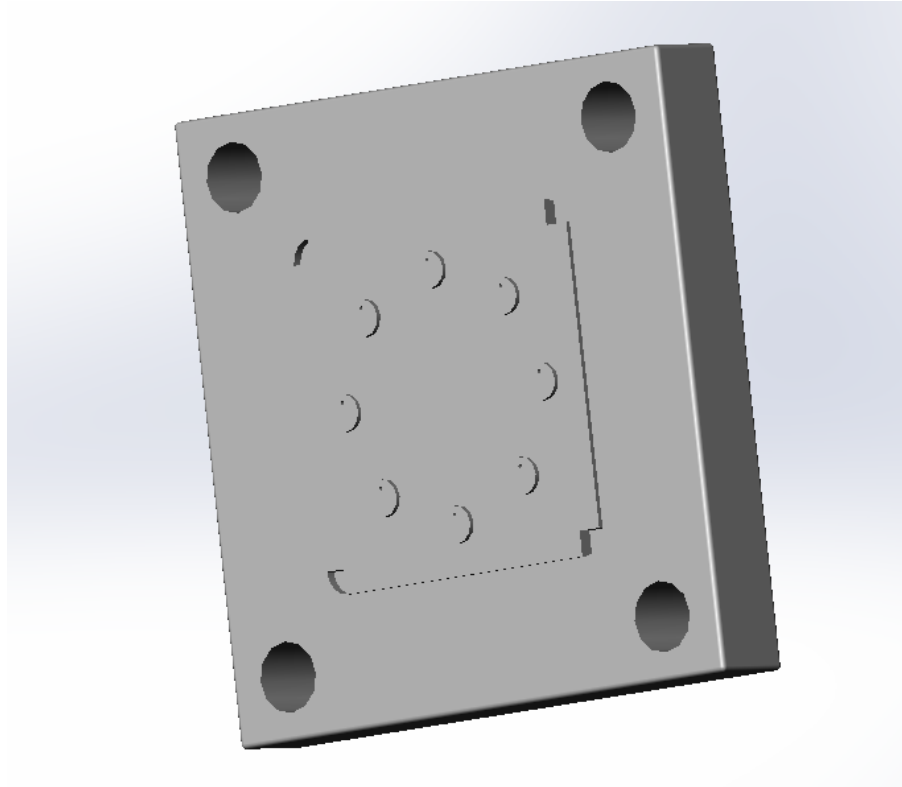


Figura 4.31. Placa que contiene los ataques

Tras escoger el tipo de ataque se va a definir el bebedero. El bebedero tendrá un diámetro que está definido en el plano correspondiente a la boquilla, y su forma será troncocónica. Además la longitud será de 56 mm y estará colocado en el centro del molde para lograr un flujo equilibrado. La longitud es grande para que el molde tenga un espesor suficiente para después diseñar los canales de refrigeración por encima de la pieza.

Finalmente, habrá que definir el tipo de canales que se va a utilizar. Tal como se ha explicado anteriormente, una de las soluciones más típicas es realizar un sistema de canales con un equilibrado natural. Para ello, hay que darle a todos los canales la misma longitud y diámetro que a los demás, es decir, que los canales que están unidos con cada cavidad sean iguales tomando un plano de simetría.

En este caso, los canales de alimentación tendrán una sección cuadrada. La sección ideal para los canales es la cilíndrica pero como el mecanizado de estos es más difícil y a la vez más caro, se ha optado por la sección cuadrada de los canales. Estos canales irán repartidos a partes iguales en la placa 1 y 2 del molde.

Dependiendo del material que vaya a fluir por estos canales, tienen que tener un tamaño u otro. Como en este caso el material que va a fluir por los canales es la poliamida 6, se ha llegado a la conclusión de que la sección de los canales debe de ser de 1 mm. Para ello se han utilizado unas formulas que dependen del material a inyectar.

Así pues la profundidad del canal en la placa 1 sería de 0,5 mm y en la placa 2 también sería de 0,5 mm. En las figuras 4.32 y 4.33 se pueden apreciar como es el canal de alimentación del molde.

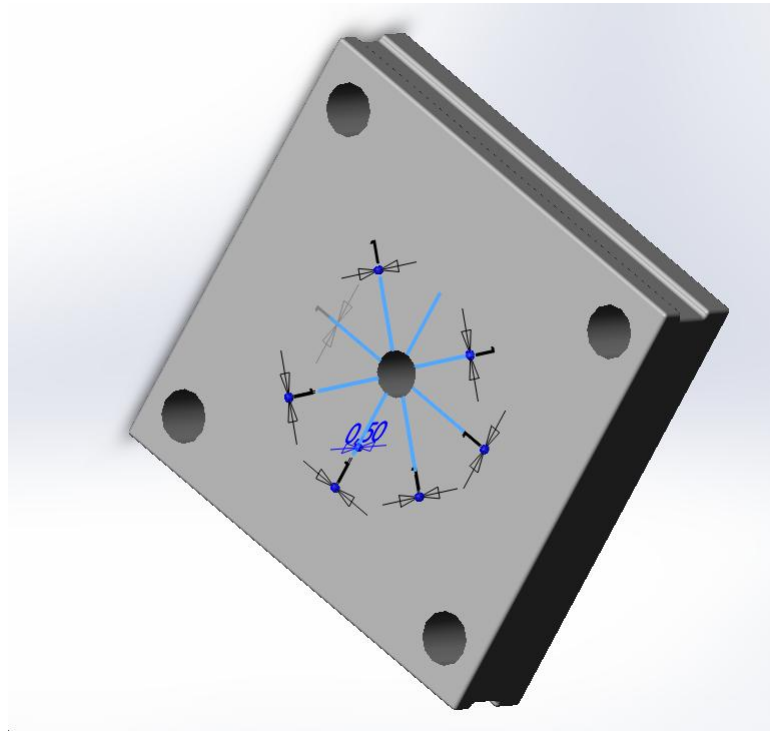


Figura 4.32. Canal de alimentación en la placa 1

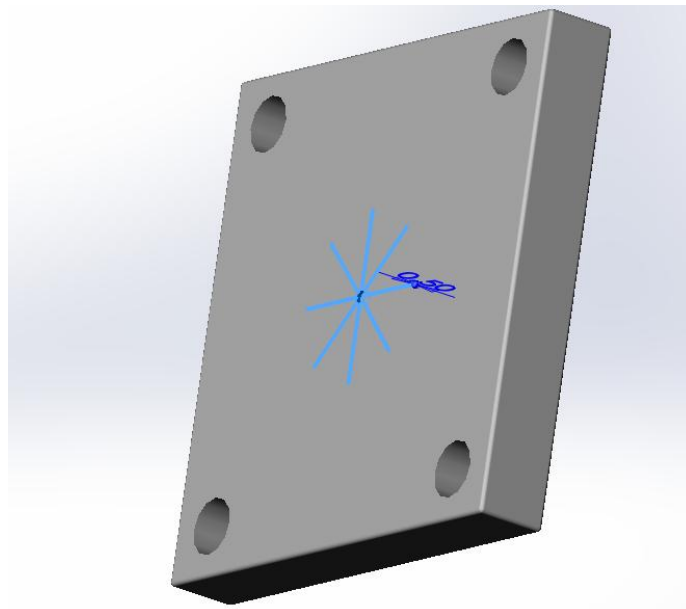


Figura 4.33. Canal de alimentación en la placa 2

Cabe destacar que en la placa 2 se ha situado un pozo frío, en el punto donde el bebedero llega a su fin. Con esto se consigue mejorar el flujo del material fundido.

4.5 CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE

ANÁLISIS PREVIO

A la hora de diseñar un molde y sus utillajes, es muy importante estudiar el tipo de degradación que tiene debido a esfuerzos que se producen durante su vida. Es por ello que la elección de las características del molde es muy importante.

Existen multitud de materiales para la fabricación de moldes de inyección de plástico. Los más importantes son los siguientes [17]:

- Aceros
- Cobre y sus aleaciones
- Aleaciones de cobre-berilio-cobalto
- Aleaciones de cobre-zinc (Latón)
- Aleaciones de cobre-estaño (Bronce, latón rojo)
- Zinc y sus aleaciones
- Aluminio y sus aleaciones
- Aleaciones de estaño bismuto
- Materiales obtenidos galvanicamente
- Materiales cerámicos

El material más empleado es el acero, siendo los demás materiales utilizados en aplicaciones específicas o por alguna característica muy concreta, aunque el aluminio es interesante debido a su reducido peso, elevada conducción térmica y sobre todo a que es fácil de mecanizar. Al ser el acero el material más común para la fabricación de moldes de inyección, dentro de los aceros se realiza también una clasificación según sus características [18]:

- Aceros de cementación
- Aceros de temple total
- Aceros bonificados
- Aceros resistentes a la corrosión
- Aceros de nitruración
- Aceros de segunda fusión

En la siguiente tabla (tabla 4.1) podemos ver ejemplos de distintos aceros utilizados en la fabricación de moldes de inyección de plásticos según su aplicación y composición:

Designación según DIN 17006	Material nº	Aplicación
C4W3	1.1803	Moldes pequeños y medianos; para troquelados o estampados profundos
C15WS	1.1805	Moldes pequeños y medianos; troquelable en frío
X6CrMo4	1.2341	Moldes pequeños y medianos; troquelable en frío
21 MnCr5	1.2162	Moldes pequeños y medianos; troquelable en frío. Por mecanizado, moldes de todos los tamaños
X19NiCrMo4	1.2764	Moldes de todos los tamaños, mecanizado
15NiCr14	1.2735	Moldes de todos los tamaños; mecanizado. En determinadas condiciones, troquelable en frío. Fácil pulido
21CrMnMo5	1.2310	Moldes de todos los tamaños; mecanizado. Fácil pulido
33A1CrMo4	1.2852	Vaciados con nervios estrechos, poca deformación, superficie resistente a la abrasión
29CrMoV9	1.2307	Moldes de todos los tamaños, poca deformación, superficie resistente a la abrasión
34CrA16	1.2851	Moldes de todos los tamaños, poca deformación, superficie resistente a la abrasión, gran exactitud de dimensiones
X45NiCrMo4	1.2767	Moldes de todos los tamaños con vaciados profundos, resistente a la compresión
90MnV8	1.2842	Moldes pequeños, fácil pulido; piezas móviles sometidas a altos esfuerzos
X210Cr12	1.2080	Moldes pequeños y piezas móviles
105WCr6	1.2419	Moldes con vaciados planos o poco profundos; elementos de moldeo sometidos a altos esfuerzos
100MnCrW4	1.2510	Moldes con vaciados planos; elementos de moldeo sometidos a altos esfuerzos
X100CrMoV51	1.2363	Moldes pequeños, con vaciados complicados Fáciles elaboración y pulido
X16SCrMoV12	1.2601	
35NiCrMo16	1.2766	
54NiCrMoV6	1.2711	Fáciles elaboración y pulido
55NiCrMoV6	1.2713	Moldes grandes, posibilidad de grandes cargas específicas locales, resistente a la abrasión
X38CrMo51	1.2343	Gran resistencia a la compresión; resistente a la abrasión: utilizable para troquelado
50CrV4	1.2241	Fáciles elaboración y pulido
40CrMnMo7	1.2311	Moldes medianos, fácil pulido
X40Cr13	1.2083	Resistente a la corrosión y a los ácidos. fácil pulido, no soldable
X36CrMo17	1.2316	Resistente a la corrosión, a los ácidos y a la abrasión
X54NiCrMoW4	1.2765	Gran tenacidad, resistencia a la compresión y a la abrasión
75CrMoNiW67	1.2762	Gran tenacidad, resistencia a la compresión y a la abrasión
50NiCr11	1.2718	Gran tenacidad, resistencia a la compresión y a la abrasión
X165CrMoV12	1.2601	Gran tenacidad, resistencia a la compresión y a la abrasión
80WCrV8	1.2552	Gran tenacidad, resistencia a la compresión y a la abrasión

Tabla 4.1. Aceros utilizados en la fabricación de moldes de inyección de plásticos

Por último, habría que mencionar que los moldes suelen tener muchas veces tratamientos térmicos, por lo que habrá que tener en cuenta la temperatura de funcionamiento del molde para ver si un tratamiento es adecuado o no.

SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el tipo de proceso de fabricación como el moldeo por inyección, será necesario un material del molde que tenga una buena resistencia al desgaste. Además, como tendrá un fluido que circulará a lo largo del molde como refrigerante, es conveniente escoger un material que sea resistente a la corrosión para evitar problemas en el futuro.

El material que se va a emplear en la construcción del molde va a ser el acero, ya que tiene unas buenas propiedades mecánicas y su coste no es elevado comparando con otros materiales. El material específico que se va a utilizar es un acero M310 Isoplast del proveedor BÖHLER [19].

Éste es un acero inoxidable martensítico muy utilizado para la fabricación de moldes de inyección de plástico que además ofrece un gran número de ventajas:

- Posibilidad de obtener muy buenas calidades superficiales
- Buena resistencia a la corrosión
- Buena resistencia al desgaste
- Buenas propiedades frente a polímeros químicamente agresivos
- Buenas propiedades para realizar acabados fotograbados
- Fácil mecanizado
- Buenas propiedades de templado

Según distintas normas se puede denominar de las siguientes maneras:

- DIN 1.2083
- EN X40Cr14
- AISI 420

Y su composición química es la siguiente:

- 0,38 % C
- 0,70 % Si
- 0,45 % Mn
- 14,25 % Cr
- 0,20 % V

La dureza con la que lo suministra el proveedor es de 225 HB, y sus propiedades son las siguientes:

- Densidad del molde: $7,7 \text{ g/cm}^3$
- Calor específico del molde: $460 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$
- Conductividad térmica del molde: $30 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- Módulo elástico (E): 220000 MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,29
- Coeficiente de dilatación térmica del molde: $1,05 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Respecto al tamaño del molde, este tendrá las siguientes medidas:

- Eje X: 246 mm
- Eje Y: 246 mm
- Eje Z: 211 mm

Es un molde obtenido del catálogo de la empresa experta en moldes llamada Pedrotti. Cada placa del molde viene normalizada y mecanizada con sus agujeros correspondientes. Hay varias configuraciones, pero en este caso se ha decidido por un molde de “tres placas” ya que así el desmatarozado se hace más fácil.

A partir de estas placas normalizadas, habrá que mecanizar las zonas para la boquilla, los canales de alimentación, los ataques, las cavidades, la zona donde se colocan los expulsores, etc.

Además de estas placas, también van a ser necesarios otros componentes para la fabricación total del molde. A continuación, se pueden observar estos componentes (figuras 4.34, 4.35, 4.36 y 4.37) y también todas las placas que forman el molde.

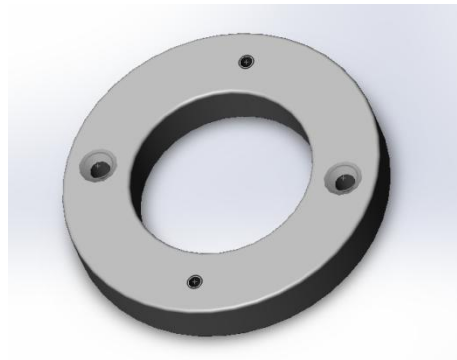


Figura 4.34. Aro centrador

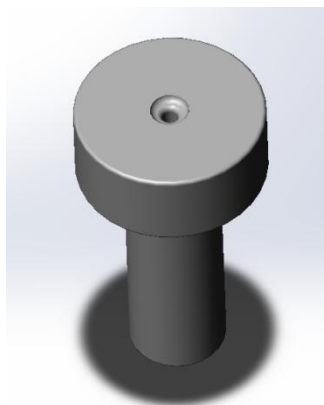


Figura 4.35. Boquilla

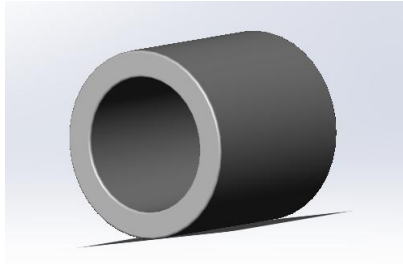


Figura 4.36. Casquillo para columnas

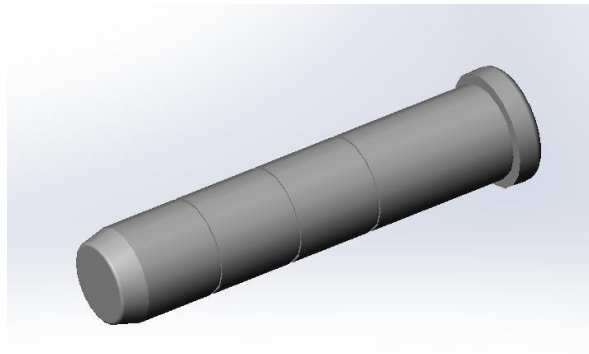


Figura 4.37. Columna

Las placas mostradas a continuación han sido obtenidas del catalogo de la empresa Pedrotti. Más tarde, se mostrará como han sido mecanizadas mediante la utilización de sistemas de simulación (CAM).

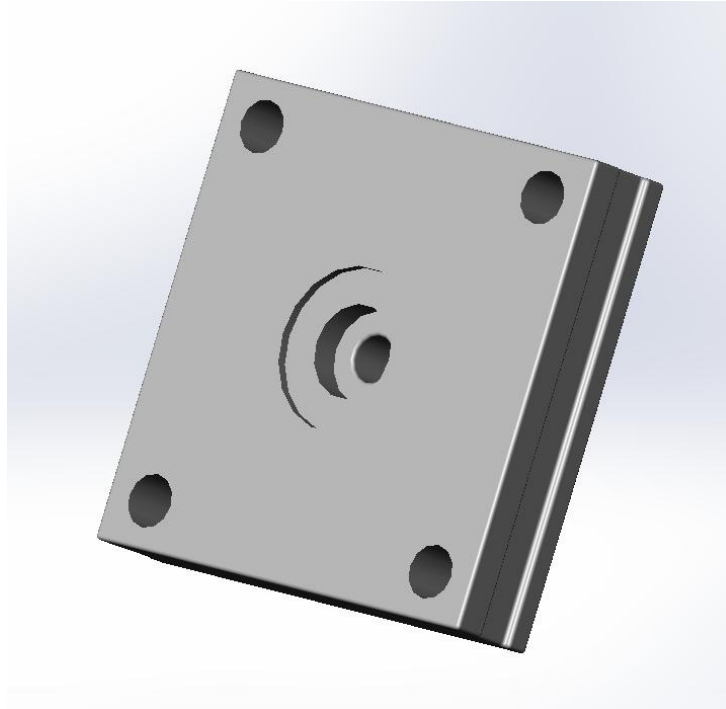


Figura 4,38. Placa 1, lado superior

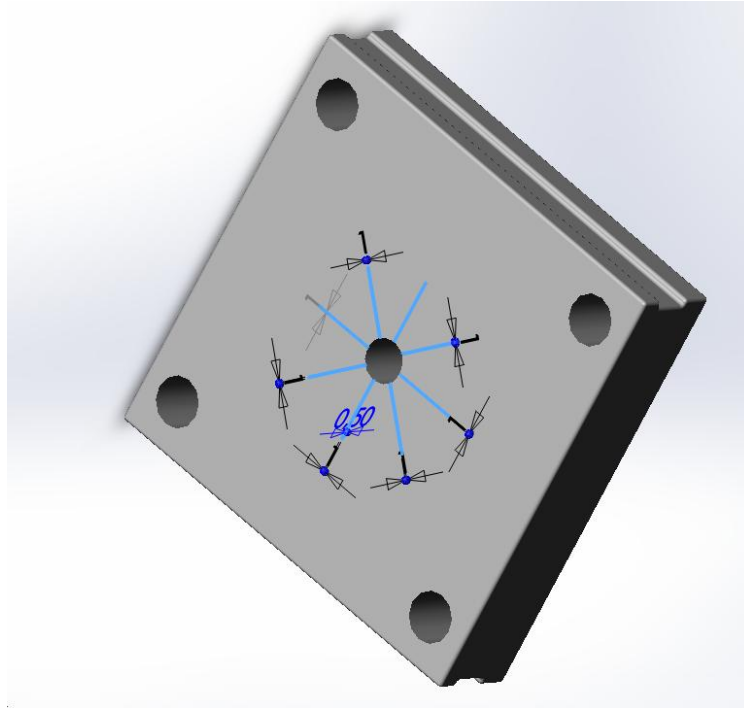


Figura 4.39. Placa 1, lado inferior

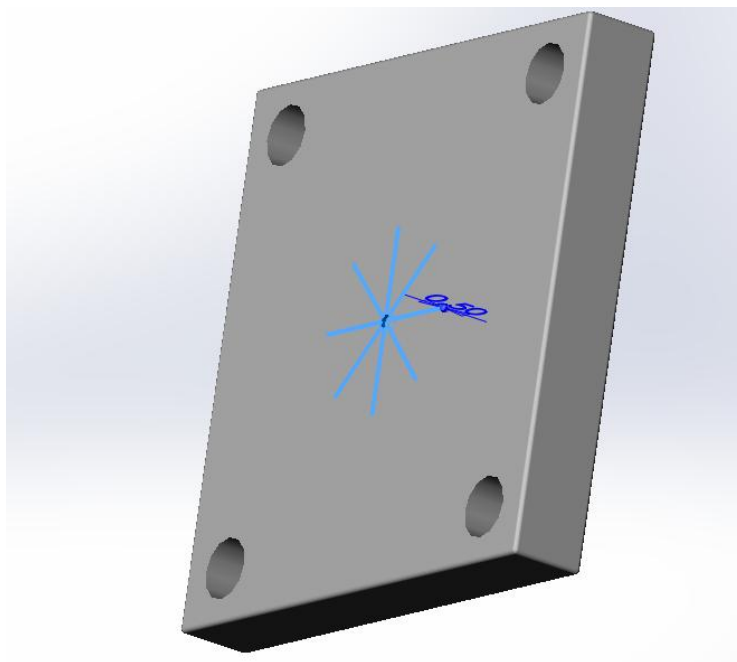


Figura 4.40. Placa 2, lado superior

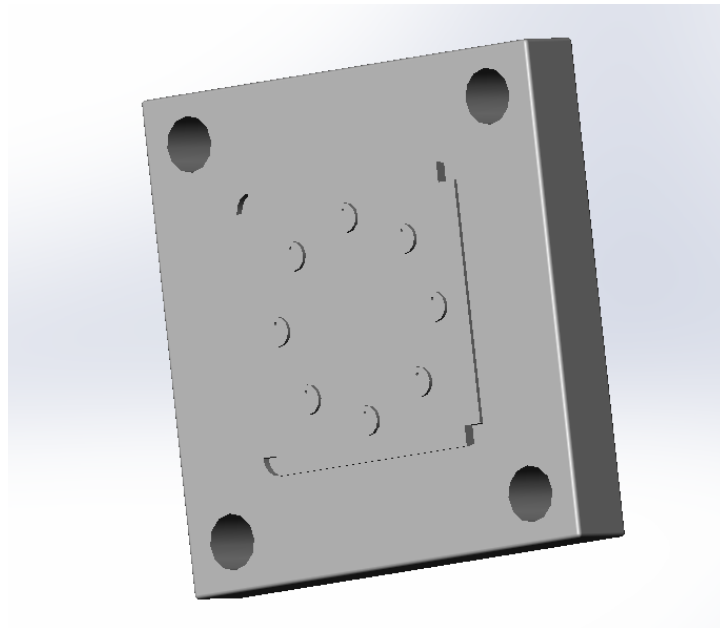


Figura 4.41. Placa 2, lado inferior

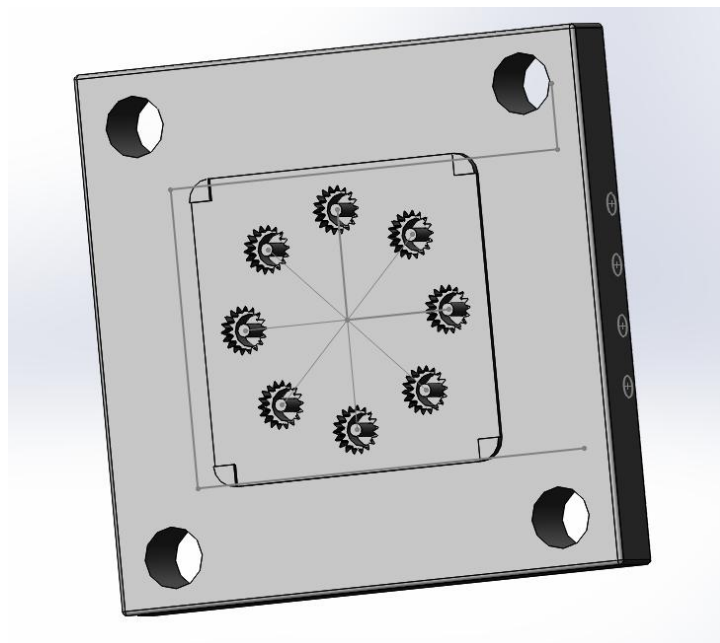


Figura 4.42. Placa 3, lado superior

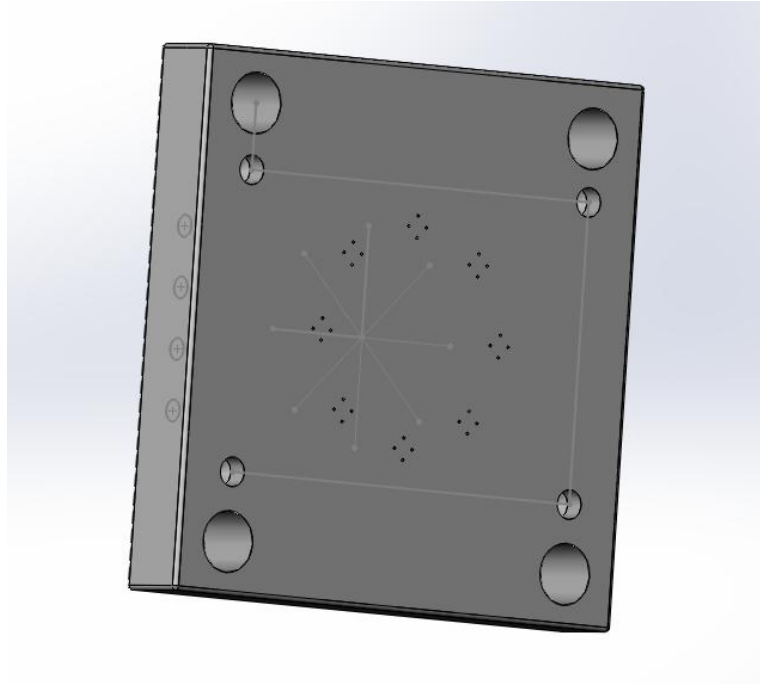


Figura 4.43. Placa 3, lado inferior

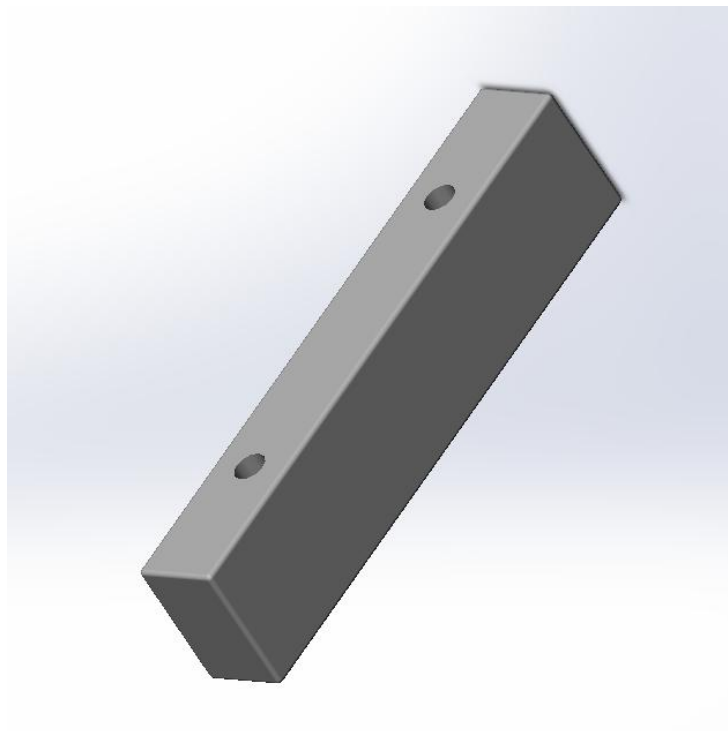


Figura 4.44. Placa 4

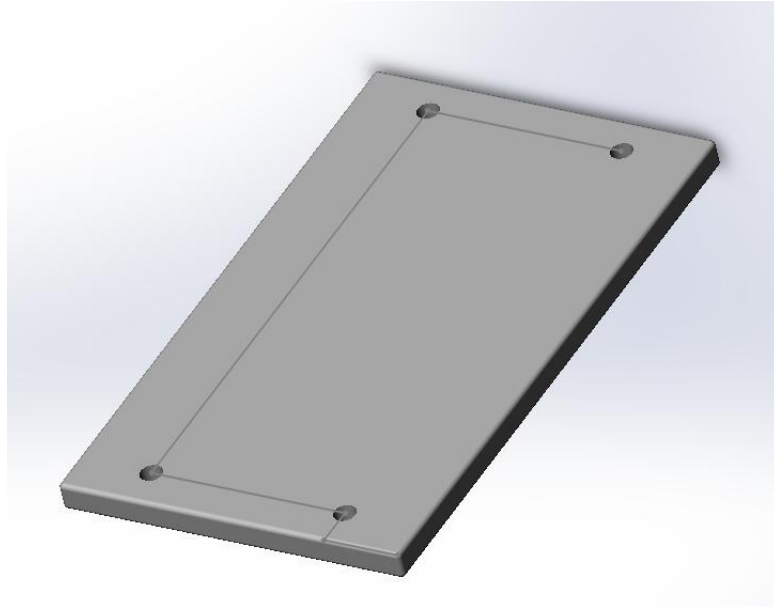


Figura 4.45. Placa 5

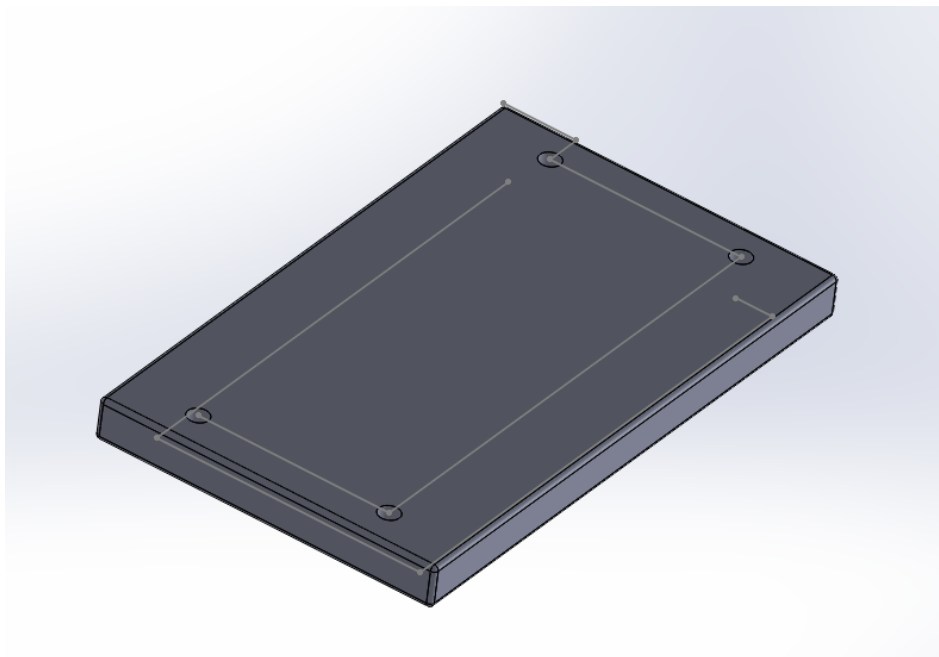


Figura 4.46. Placa 6, lado superior

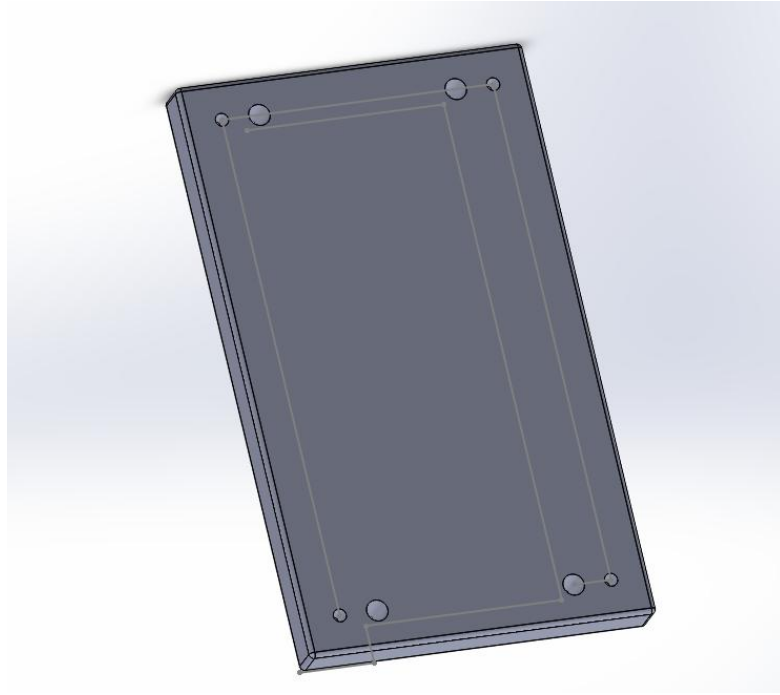


Figura 4.47. Placa 6, lado inferior

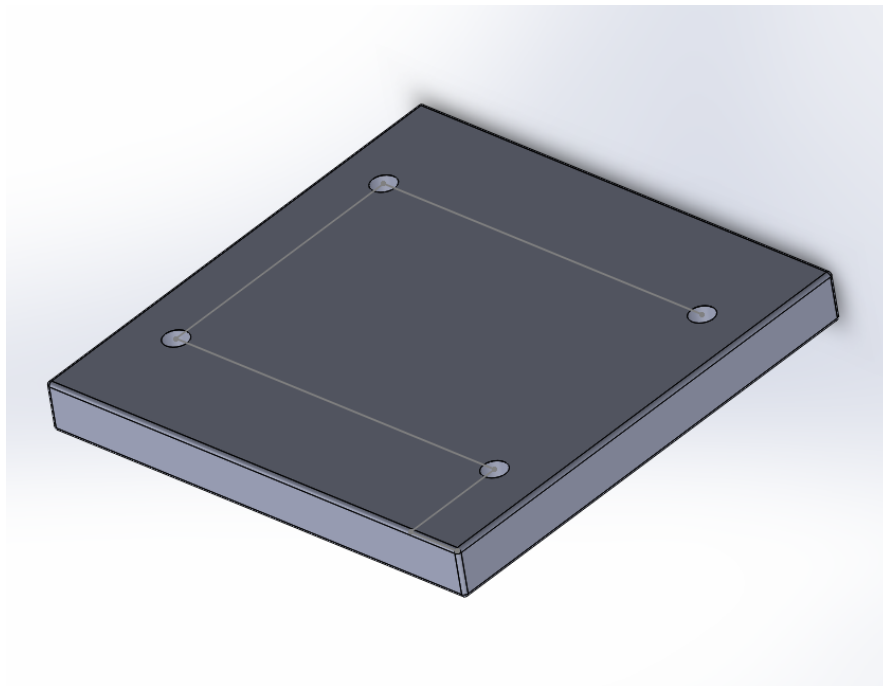


Figura 4.48. Placa 7

A continuación, se puede observar una vista en corte (figura 49) de cómo quedarían unidas las placas entre sí. Para ello, es necesaria la presencia de los componentes previamente definidos. El termino XE-Z+M se refiere al tipo de configuración del molde.

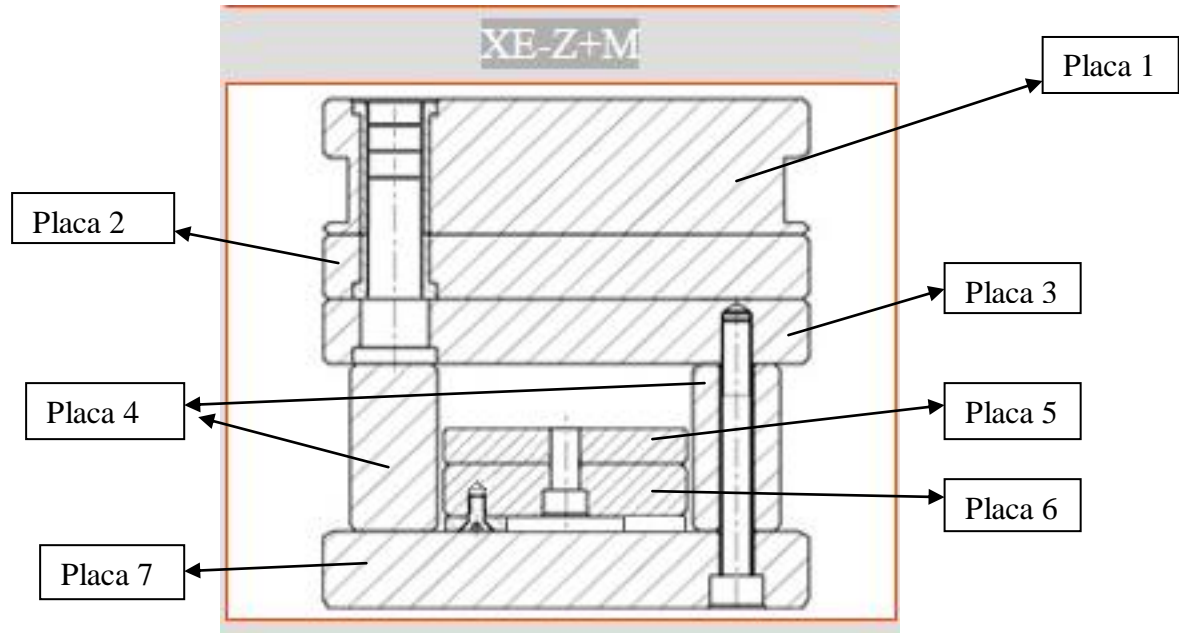


Figura 4.49. Vista en corte del molde completo

4.6 CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

El circuito de refrigeración está compuesto por los canales de refrigeración, varios componentes utilizados para mejorar el rendimiento de los canales de refrigeración y el refrigerante.

Los requisitos para la refrigeración de la pieza siempre estarán comprometidos entre el enfriamiento uniforme para asegurar la calidad de la pieza y la minimización del tiempo de enfriamiento para disminuir los costes de producción. El rango en el que se pueda mover dependerá de los requisitos funcionales de la pieza, geometría de esta, etc.

En la siguiente figura (figura 4.50) se puede ver un circuito de refrigeración con sus componentes:

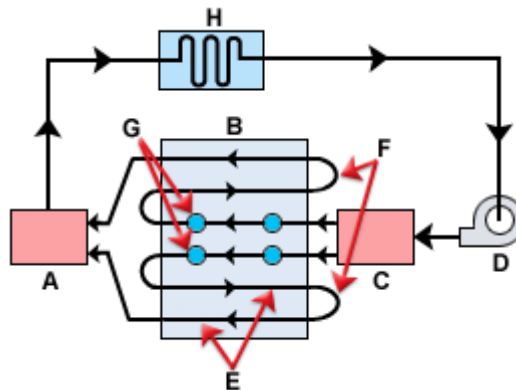


Figura 4.50. Circuito de refrigeración

- A = Colector de recogida
- B = Molde
- C = Colector de distribución
- D = Bomba
- E = Canales de refrigeración
- F = Mangueras
- G = Deflectores
- H = Controlador de temperatura

ANÁLISIS PREVIO

El tiempo de enfriamiento en teoría es el tiempo desde el final de la compactación hasta la expulsión de la pieza, aunque en la práctica es el tiempo desde que se llena la cavidad del molde hasta la expulsión. Cuanto menor sea, menor será el tiempo del ciclo de inyección, por lo que interesa minimizarlo. El tiempo de enfriamiento puede llegar hasta el 80 % del tiempo del ciclo de inyección por lo que es muy importante intentar minimizarlo.

Existen varios factores tanto de proceso como de diseño que influyen en el tiempo de enfriamiento de una pieza:

- Temperatura de molde

Cuanto menor sea la temperatura del molde, menor será el tiempo de enfriamiento por lo que la productividad será mayor. En el siguiente diagrama (figura 4.51) se puede ver claramente como afecta la temperatura del molde al tiempo de enfriamiento:

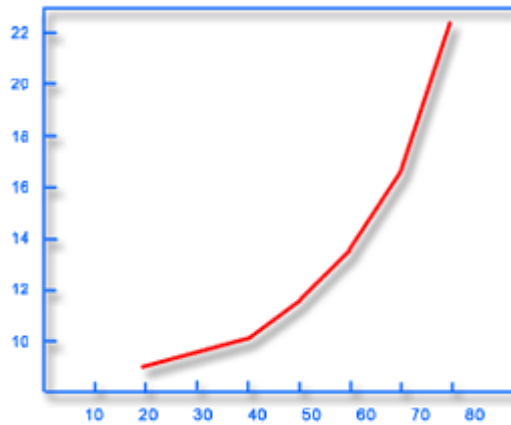


Figura 4.51. Influencia de la temperatura del molde en el tiempo de enfriamiento

- Tipo de refrigerante

Como no todos los polímeros se solidifican a la misma temperatura, existen moldes que trabajan a diferentes temperaturas. En función de esto, se emplea uno u otro líquido atemperador. Generalmente, se utilizan dos tipos de refrigerantes, agua tratada o aceite diatérmico, aunque algunos procesos requieren una mezcla de agua/alcohol. En los moldes que trabajan entre 15 °C y 60 °C se usa normalmente agua y la ayuda de unidades de control de temperatura llamados equipos de refrigeración (chillers, torres de enfriamiento, etc.), mientras que los que están entre 60 °C y 90 °C usan generalmente aceite y la ayuda de equipos llamados “atemperadores”.

- Temperatura del refrigerante

La temperatura del refrigerante afecta de la misma manera que la temperatura del molde. Cuanto menor sea la temperatura del refrigerante, menor es el tiempo de enfriamiento. Relacionado con lo dicho anteriormente, cuando la temperatura del refrigerante está por debajo de 60 °C se suele hablar de refrigeración, y en caso de estar por encima de atemperar.

- Espesor de la pieza

Un mayor espesor de la pieza aumenta considerablemente el tiempo de ciclo, por lo que interesa minimizarlo para lograr un enfriamiento más rápido. También es recomendable que los espesores de las piezas sean lo más uniformes posibles. A pesar de ello este trabajo está orientado a

optimizar el proceso de inyección de una pieza con un gran espesor, por lo que este parámetro no se analizará durante el trabajo.

- Tipo de flujo del refrigerante

La efectividad del refrigerante aumenta en función del tipo de flujo que circula por el circuito. Para lograr la máxima eficiencia posible hay que lograr un flujo turbulento, y para ello hay que calcular el número de Reynolds. El número de Reynolds recomendable utilizado es de 10.000.

Esto es debido a que si el flujo es laminar, el calor sólo puede ser transferido mediante conducción entre capas, mientras que en flujo turbulento, la transferencia de masa en dirección radial permite que el calor se transfiera mediante conducción y convección. Como resultado, la eficiencia aumenta considerablemente. En la figura 4.52 se puede ver la diferencia entre distintos tipos de flujo.

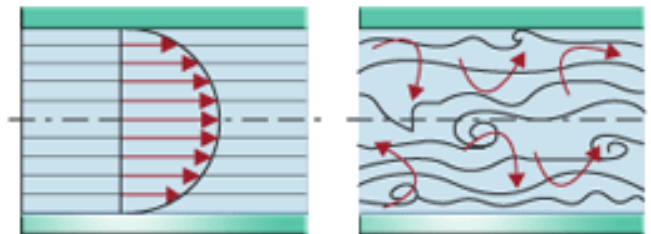


Figura 4.52. Flujo laminar (Izda.) y flujo turbulento (Dcha.)

No merece la pena lograr un flujo con un número de Reynolds mayor de 10.000 ya que este incremento supondría un gran aumento de la presión del circuito de refrigeración teniendo que utilizar mayores bombas, y el rendimiento aumenta muy poco. En la siguiente figura 4.53 se puede ver la relación entre rendimiento, presión y tiempo de enfriamiento:

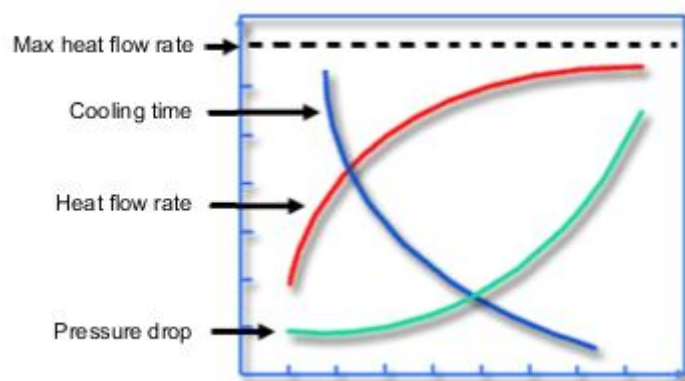


Figura 4.53. Relación Presión – Flujo – Tiempo de enfriamiento de un refrigerante

Respecto al número de Reynolds, una vez que se alcanza un flujo de transición la capacidad de extracción de calor empieza a incrementarse exponencialmente aunque a un cierto número de Reynolds ya en régimen turbulento esta capacidad deja de aumentar.

Como información adicional añadir que el número de Reynolds viene dado por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

O equivalentemente por:

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

ρ : Densidad del flujo

V_s : Velocidad característica del fluido

D : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ : Viscosidad dinámica del fluido

ν : Viscosidad cinemática del fluido

Siendo:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Los distintos regímenes de flujo vienen dados por los siguientes números de Reynolds:

- $Re < 100$: Flujo estancado
- $100 < Re < 2000$: Flujo laminar
- $2000 < Re < 4000$: Flujo de transición
- $4000 < Re$: Flujo turbulento

- Longitud de los canales

Al aumentar la longitud de los canales, aumentamos la superficie para la transferencia de calor, pero dentro de unos límites, ya que si son demasiado largos podrían ocurrir problemas como un aumento en la caída de la presión en el circuito, exceso de temperatura en los canales, o que la relación del refrigerante a la entrada y salida no fuera adecuada.

En esta imagen (figura 4.54) podemos ver distintas posibilidades de circuitos de refrigeración para un mismo molde:

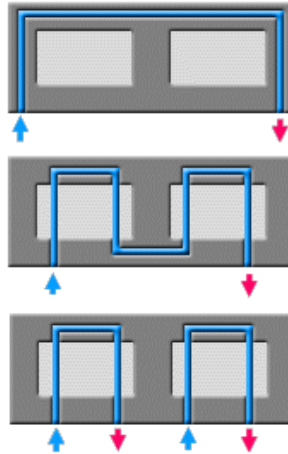


Figura 4.54. Distintos circuitos de refrigeración para un mismo molde

- Diámetro de los canales

Si aumentamos el diámetro de los canales aumentamos la superficie de transferencia, por lo que mejoramos el enfriamiento de la pieza. Por lo tanto interesa poner mayores diámetros, pero cuanto mayor sea el diámetro del canal, también habrá que lograr una velocidad de flujo mayor de manera que será más complicado lograr un número de Reynolds adecuado para nuestro circuito.

- Posicionamiento de los canales de refrigeración

Es muy importante un correcto posicionamiento de los canales de refrigeración. Los canales hay que colocarlos lo más cercanos posibles a las zonas calientes y alejados de las zonas que tienen una tendencia a enfriarse. En la figura 4.55 tenemos una imagen de un posicionamiento incorrecto, y en la figura 4.56 en cambio uno correcto:

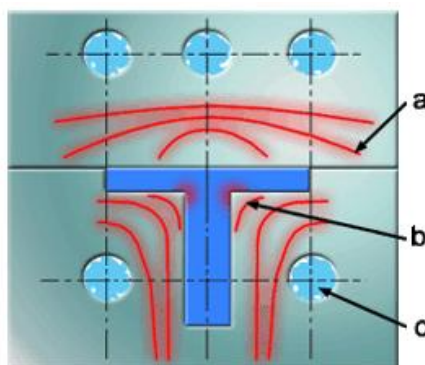


Figura 4.55. Posicionamiento incorrecto de los canales de refrigeración

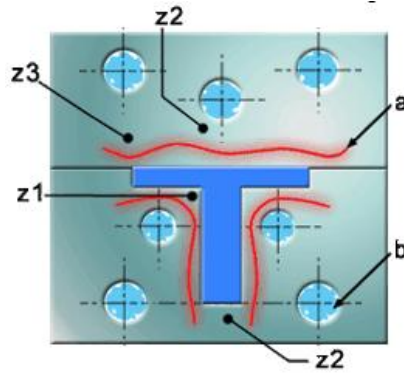


Figura 4.56. Posicionamiento correcto de los canales de refrigeración

- Distancia entre canales de refrigeración

La distancia entre los distintos canales de refrigeración afecta al enfriamiento de la pieza. Si hay menos espacio entre los canales, el enfriamiento es más uniforme que si hay más distancia entre ellos como podemos ver en la siguiente imagen (figura 4.57):

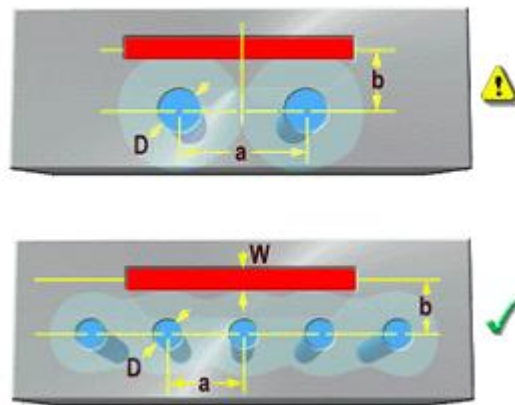


Figura 4.57. Homogeneidad del enfriamiento en función de la distancia entre canales

- Distancia entre los canales de refrigeración y la pieza

Una menor distancia entre los canales de refrigeración y la pieza puede darnos menores tiempos de enfriamiento y mejor evacuación del calor, pero puede llevarnos a una excesiva variación de temperatura en la superficie de la cavidad llevando a problemas de calidad. Por otro lado, una mayor distancia entre los canales de refrigeración disminuye la evacuación de calor pero mantiene más uniforme la temperatura alrededor de la cavidad.

Por ello, es recomendable establecer cierta distancia entre la pieza y los canales de refrigeración para así asegurar la calidad de la pieza. Esto también aumenta la temperatura en la superficie de la cavidad durante la inyección, que tiene consecuencias positivas para la distorsión, las propiedades mecánicas de la pieza y el llenado del molde.

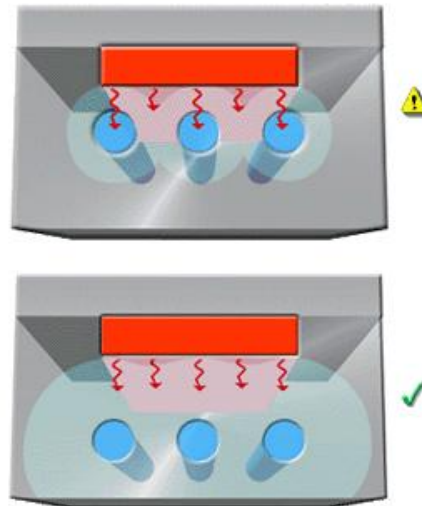


Figura 4.58. Homogeneidad del enfriamiento en función de la distancia de los canales de refrigeración y la pieza

Para tener una referencia más clara se va a exponer un ejemplo donde se diseñan distintos sistemas de refrigeración donde se cambia la distancia entre los canales de refrigeración y la distancia de estos a la cavidad del molde. Este ejemplo se ha realizado con agua como refrigerante a una temperatura de 30 °C y un acero P20.

En el se puede ver la relación del diámetro de los canales con la distancia de estos al molde y la distancia entre canales. Se ve que generalmente a menor distancia entre los canales de refrigeración y la cavidad del molde, disminuye la temperatura pero empeora la homogeneidad habiendo distintas zonas a distintas temperaturas, pero que manteniendo esa distancia si disminuimos la distancia entre los canales, sigue no siendo uniforme pero las variaciones de temperatura son menores. Por otro lado, si la distancia entre la cavidad del molde y los canales es grande, la temperatura aumenta pero la homogeneidad aumenta considerablemente, y si ponemos la distancia entre canales menor esta aumenta aún más. En la figura 4.59 se puede ver esquemáticamente el ejemplo que he expuesto.

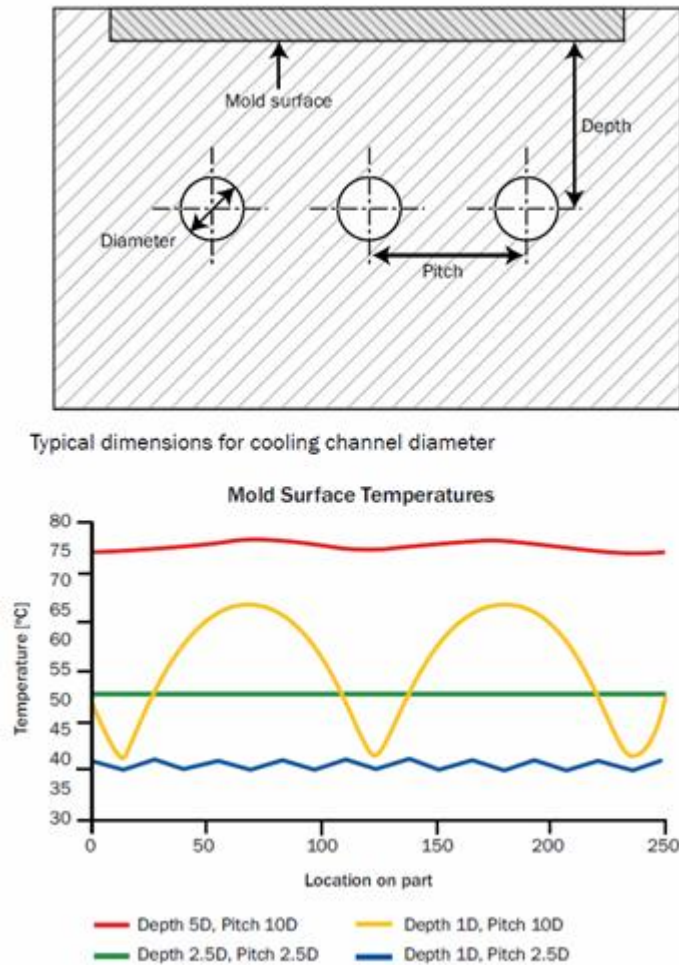


Figura 4.59. Ejemplo de la influencia de las distancias entre los canales de refrigeración a la pieza y la distancia entre estos

Por lo tanto, como conclusión general se puede tomar como guía orientativa lo siguiente.

- Aumentar la distancia entre canales → Empeora la homogeneidad
- Disminuir la distancia entre canales → Mejora la homogeneidad
- Aumentar la distancia entre canales → Aumenta la temperatura pero mejora la homogeneidad
- Disminuir la distancia entre canales → Disminuye la temperatura pero empeora la homogeneidad
- Diferencias de temperatura en el circuito de refrigeración

Las condiciones adecuadas de enfriamiento se logran cuando se consiguen los siguientes aspectos en la temperatura relativa del refrigerante:

- El diámetro del canal debe ser lo suficientemente grande como para que la diferencia de temperatura del refrigerante a lo largo de los canales de refrigeración sea 2-5 °C

- La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del refrigerante tiene que estar entre 2-3 °C. Para ello, la velocidad del flujo debe ser lo suficientemente alta.

- Tipo de circuito

Aunque si está bien diseñado no tiene porque afectar al tiempo de refrigeración es un aspecto a considerar porque existen dos tipos de circuitos. Por un lado, está el circuito en serie y, por el otro, el circuito en paralelo. Si se puede lograr un flujo turbulento utilizando un circuito en serie es preferible que utilizar uno en serie.

Esto es debido a que si utilizamos un sistema en paralelo deberemos balancearlo bien estudiando cada rama por separado, ya que si no está bien diseñado puede que alguna rama tenga poco flujo o incluso no tenga. Es por ello que hay que asegurarse por separado que todas las ramas tengan flujo turbulento para lograr la máxima eficiencia (ver figura 4.60).

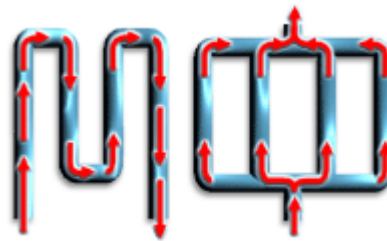


Figura 4.60. Circuito en serie (Izda.) y circuito en paralelo (Dcha.)

- Temperatura de expulsión

El último punto a considerar en el tiempo de enfriamiento es la temperatura de expulsión, ya que esta delimita el tiempo necesario para que la pieza esté totalmente solidificada.

Las piezas en función del material en el que son inyectadas, necesitan alcanzar una temperatura en la que las propiedades mecánicas son adecuadas para que la pieza pueda ser expulsada del molde sin una pérdida de calidad. Es decir, las piezas necesitan una rigidez lo suficientemente grande para así evitar el alabeo producido por las contracciones del material, las tensiones internas y la fuerzas que soporta la pieza al verse eyectadas por los expulsores del molde.

El tiempo de enfriamiento está siempre comprometido entre el enfriamiento uniforme para lograr una buena calidad en la pieza, y un rápido enfriamiento para minimizar los costes de producción.

También resaltar que es muy importante lograr un equilibrio entre el diámetro y longitud de los canales de refrigeración, y características de presión y velocidad de flujo necesarias en el canal de refrigeración, porque a mayor diámetro

necesitaremos una bomba mayor para mover el caudal necesario para lograr un número de Reynolds de 10.000.

SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el caso de elegir un buen sistema de refrigeración sería de gran ayuda la utilización del programa Moldflow, con el que sería posible realizar una simulación de cómo sería el enfriamiento de la pieza. En este caso, como no se dispone de este programa, se ha decidido utilizar un sistema de refrigeración en serie, para que el mecanizado de estos canales sea más sencillo.

Los canales de refrigeración estarán situados en la placa 3 del molde mediante cuatro orificios que van a lo largo de la placa. Estos canales tienen un diámetro de 10 mm cada uno. Esta elección está basada en un artículo escrito por el experto en moldes Julio Cesar Sabogal para la revista Metal Actual [20]. En el artículo habla sobre las diferentes temperaturas de enfriamiento que necesitan los plásticos. En el artículo se puede ver una tabla donde se observa como varían las temperaturas respecto a los distintos materiales.

Estos canales de refrigeración están situados a una distancia de 14 mm el uno del otro. Esta separación es constante en todos los canales para que así la temperatura del agua no varíe de canal a canal.

Para conocer que esta distribución de los canales de refrigeración es la correcta sería necesario hacer alguna simulación en el programa Moldflow ya que al introducir unos parámetros de inicio, el programa nos facilita tanto las distancias entre canales como los tamaños de estos. Esa sería la mejor forma para comprobar que nuestro sistema de refrigeración es el correcto para conseguir el tiempo de enfriamiento mínimo, y a su vez conseguir el menor tiempo de ciclo posible.

En la figura 4.61 se puede observar en que lugar estarían situados los canales de refrigeración de la placa 3. En el lado derecho de la placa se aprecian 4 circunferencias correspondientes a los canales.

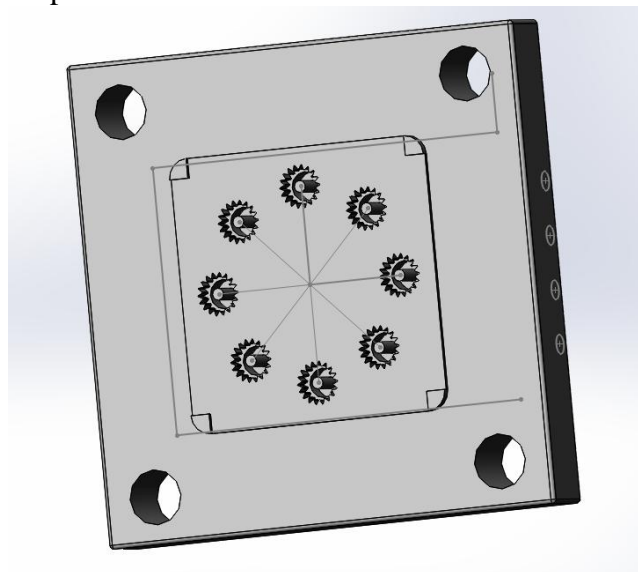


Figura 4.61. Canales de refrigeración en serie (4), Placa

CAPÍTULO 5

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN

5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE DE INYECCIÓN

Una vez diseñado el molde, se ha realizado la fabricación de este mediante la utilización de un sistema CAM (Surfcam). Como se ha comentado previamente, esta configuración del molde ha sido escogida desde un catalogo de la empresa Pedrotti. Todas las placas vienen mecanizadas con los orificios necesarios para su montaje. Pero además de estos orificios, es necesario el mecanizado de la geometría, los ataques, los canales de alimentación, el espacio para colocar la boquilla, etc.

En este apartado se definirán todas estas operaciones de mecanizado ilustrado con sus correspondientes figuras. En estas figuras, además de las trayectorias de la herramienta, también se podrán observar las herramientas utilizadas para ese mecanizado y los parámetros utilizados para que estos mecanizados sean posibles.

El capítulo estará dividido en tres partes diferentes, que serán las correspondientes a la cantidad de placas mecanizadas. Dentro de cada apartado, se diferenciarán el lado superior e inferior de cada placa. Es necesario diferenciar entre los lados de las placas ya que sería imposible mecanizar la misma placa por los dos lados estando esta sujeta solo por un lado. Es decir, primero se mecanizara cada placa por un lado, después se sujetara la placa por el lado mecanizado, para finalmente mecanizar la placa por el lado opuesto. Se ha realizado así el proceso de fabricación porque en realidad es así como se mecanizan las piezas por los dos lados.

A continuación, se procederá a describir como se ha fabricado el molde.

5.1 PLACA 1

LADO SUPERIOR

Lo primero que se ha hecho ha sido definir las dimensiones del material inicial. Para ello, nada mas arrancar el programa, se abre una ventana en la que hay que introducir los valores del “tocho” inicial (ver figura 5.1). Esto es muy importante para que después a la hora de hacer la simulación del mecanizado todo transcurra sin problemas.

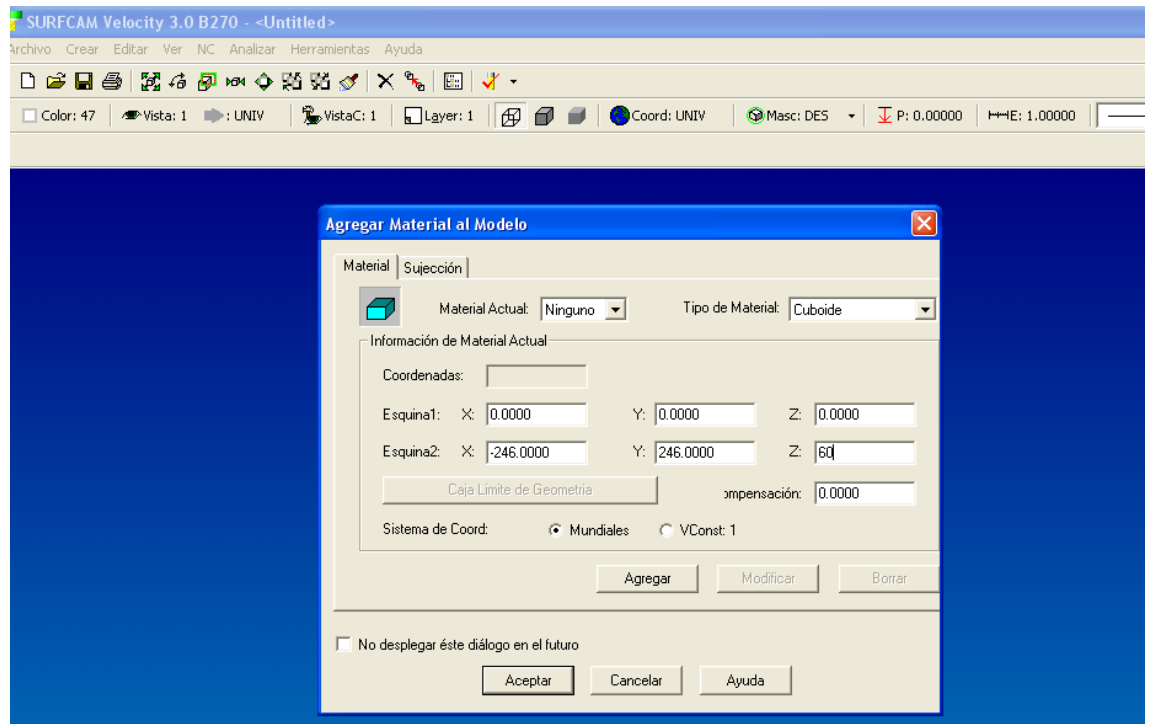


Figura 5.1. Dimensión inicial del tocho

Una vez definido el tocho inicial se procede a la definición de operaciones de mecanizado. La primera operación realizada, ha sido un planeado de 4 mm de profundidad. Para ello, es necesario utilizar la función de planeado en dos ejes. Una vez seleccionada dicha operación, hay que definir la herramienta a utilizar y los parámetros correctos para que el planeado se haga efectivo. En la figura 5.2 se puede observar la trayectoria que sigue la herramienta para realizar ese planeado.

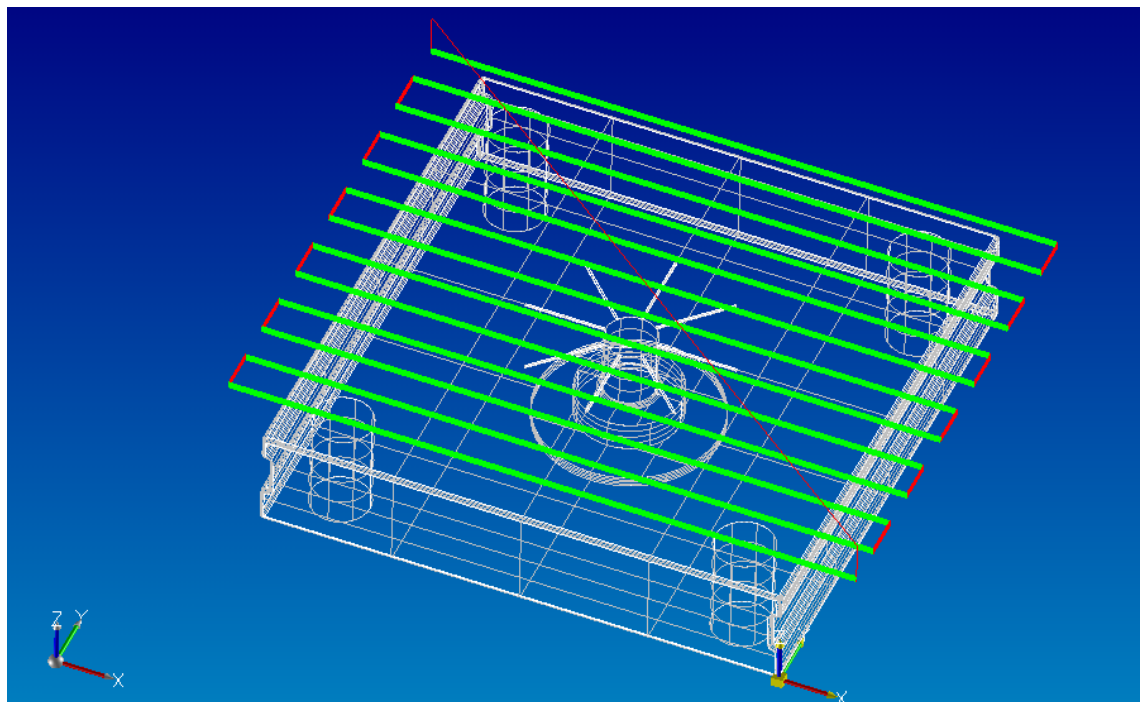


Figura 5.2. Planeado de 4 mm

Una vez realizado este planeado, se procede a realizar los orificios donde ira colocado la boquilla. Para realizar esta operación, se utiliza la función de caja en dos ocasiones ya que estos orificios son de diámetros diferentes. Primero se realiza el mecanizado del orificio superior. En la figura 5.3 se observar la trayectoria que sigue la herramienta para realizar dicha operación. La trayectoria está definida por las líneas verdes de la imagen.

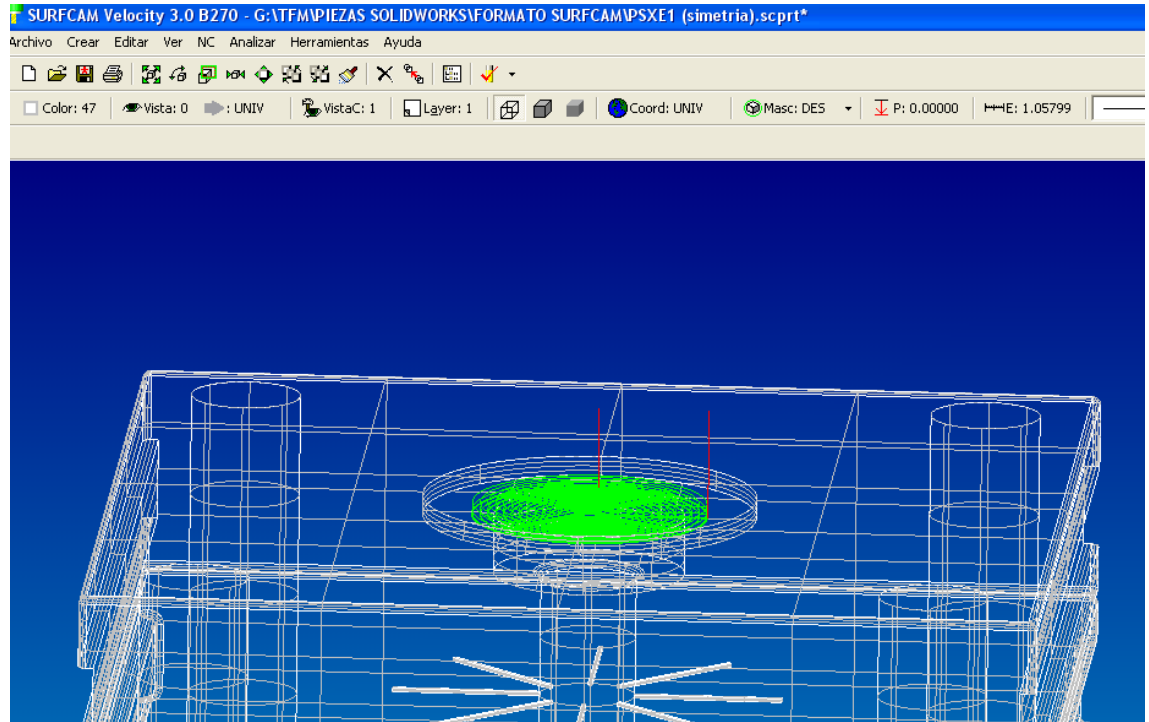


Figura 5.3. Trayectoria de la herramienta para el mecanizado del orificio superior

Para realizar esa operación, ha sido necesaria la utilización de una herramienta de corte que viene definida en las figuras 4.4 y 4.5. Se puede ver que forma tiene la herramienta y algunas de sus características más importantes.

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. 25mm - 4 flute - HSS Endmill

Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 145

Compensación Largo: 145

Compensación Diámetro: 145

Origen de Pieza: 0

Husillo: Principal

Torreta: Trasero

Largo Herramienta Z: 0.0000

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 25.0000

Radio Punta: 0.0000

Número de Filos: 4

Material Herramienta: Acero Rápido

Velocidad Superficial: 30.0

Carga x Filo: 0.192000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 382 SH

Taza de Avance: 293.3544 MPPM

Avance Penetrac: 146.6772

Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 30.0022

Carga x D. Avance: 0.1920

Carga x D. Penetrac: 0.0960

Número Programa: 0

Comentarios: Ninguno

Ins. Comandos P/Post Procesado...

Figura 5.4. Características de la herramienta

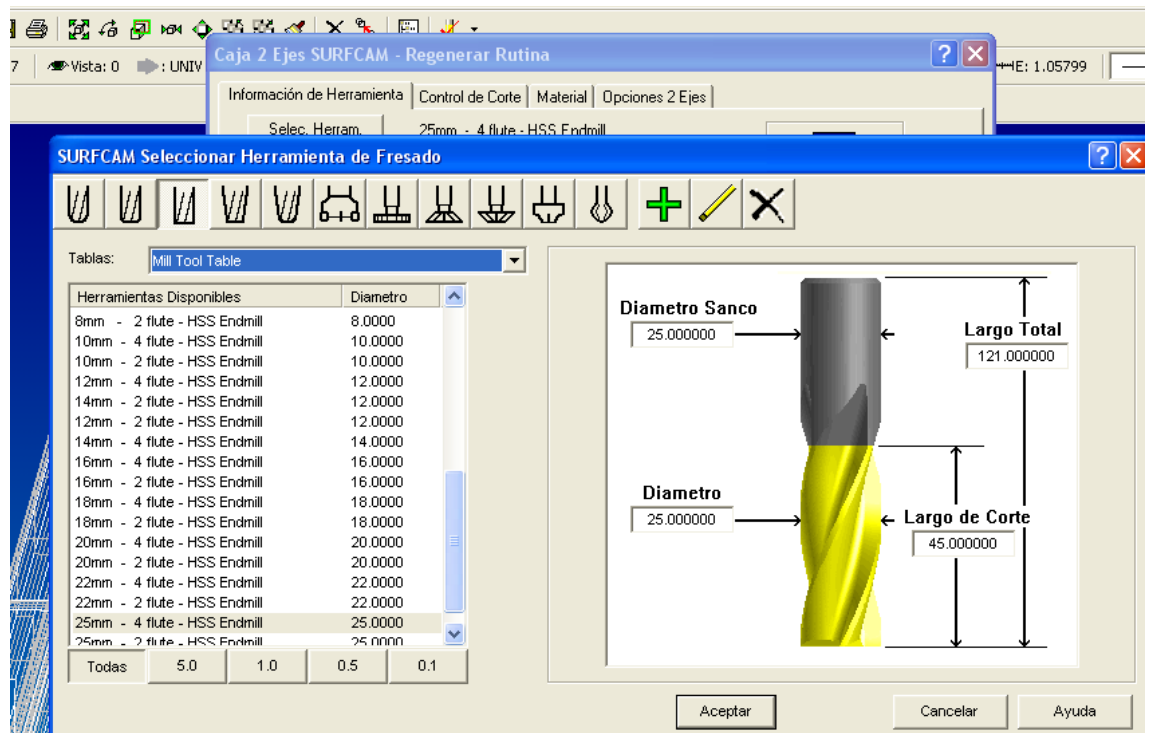


Figura 5.5. Dimensiones de la herramienta

Más tarde se ha mecanizado el orificio de menor diámetro que sigue al anterior mecanizado. En este caso, se ha utilizado una herramienta de menor diámetro ya que la operación a realizar así lo requería. A continuación, se muestran las figuras 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9 donde queda definido el citado mecanizado.

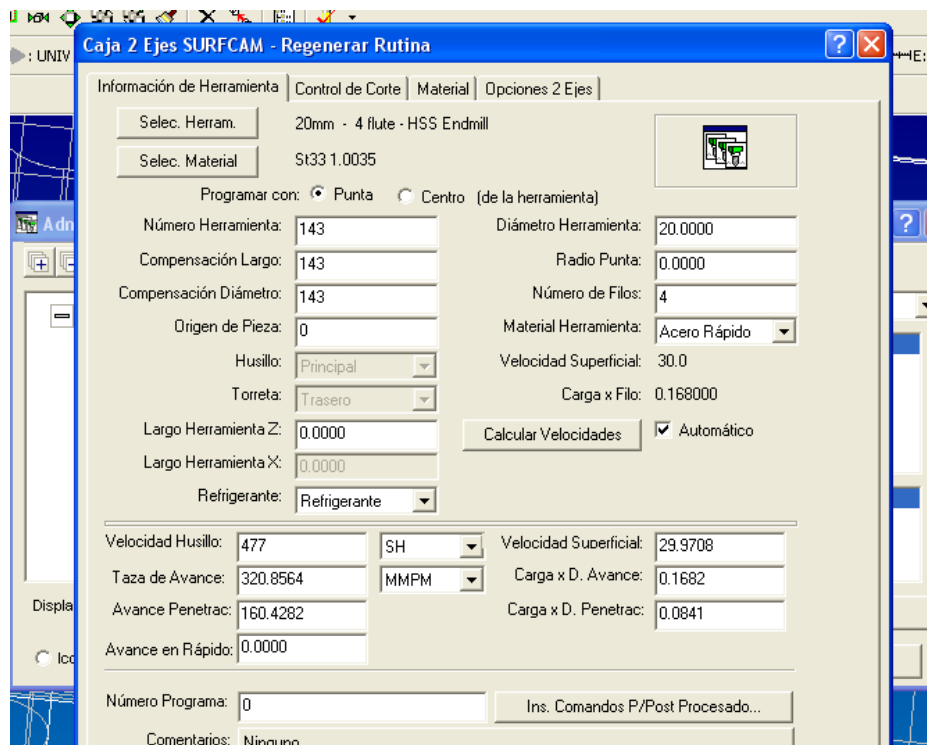


Figura 5. 6. Herramienta 143 para mecanizado tipo caja

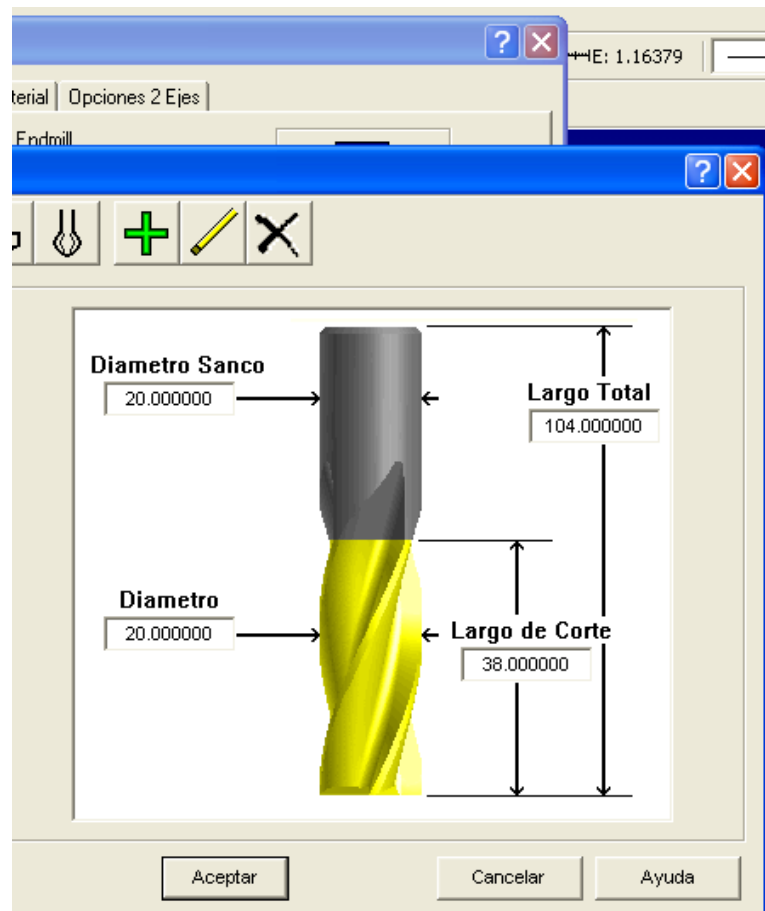


Figura 5.7. Dimensiones herramienta 143

Para realizar todas estas operaciones, es necesario introducir los datos iniciales del tocho, así como definir de que punto a que punto se quiere realizar el mecanizado. Para ello, el programa abre una ventana como la de la figura 5.8 para introducir todos estos datos.

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | **Control de Corte** | Material | Opciones 2 Ejes

Método de Corte: Trepado

Modo de Corte de Caja: Espiral

Tolerancia de Curva: 0.0250

Plano Mov. Rápido: 137.0000

Claro de Penetración: 2.5000

Geometría: Superior + Z

Angulo 2 1/2 Ejes: 0.0000

Compensación de Cortador: Compensación

Monto a Remover: 16.0785

Paso Desbaste: 2.0000

Pasadas para Acabado: 1

Paso Acabado: 0.2500

Sobrematerial: 0.0000

Movimiento Entrada: Ninguno

Movimiento Salida: Ninguno

Tipo de Penetración: Penetrar

☐ Maquinado de Saldos

☐ Activar Maquinado Alta Veloc.

Radio Máximo: 0.0500

Figura 5.8. Parámetros necesarios para realizar el mecanizado

Mención aparte merece el apartado donde se debe introducir la geometría. Este es un parámetro muy importante, ya que el programa se basa en esta medida para realizar el mecanizado adecuadamente en lo que a la profundidad (eje z) se refiere.

Mas tarde, hace falta introducir la cantidad de desbaste por pasada, así como el paso de acabado. Una vez introducidos todos estos valores, es el programa quien calcula la trayectoria. El programa te da la oportunidad de aceptar o rechazar esta trayectoria. Como se aprecia en la figura 5.9, esa sería una trayectoria correcta para el mecanizado de dicho orificio.

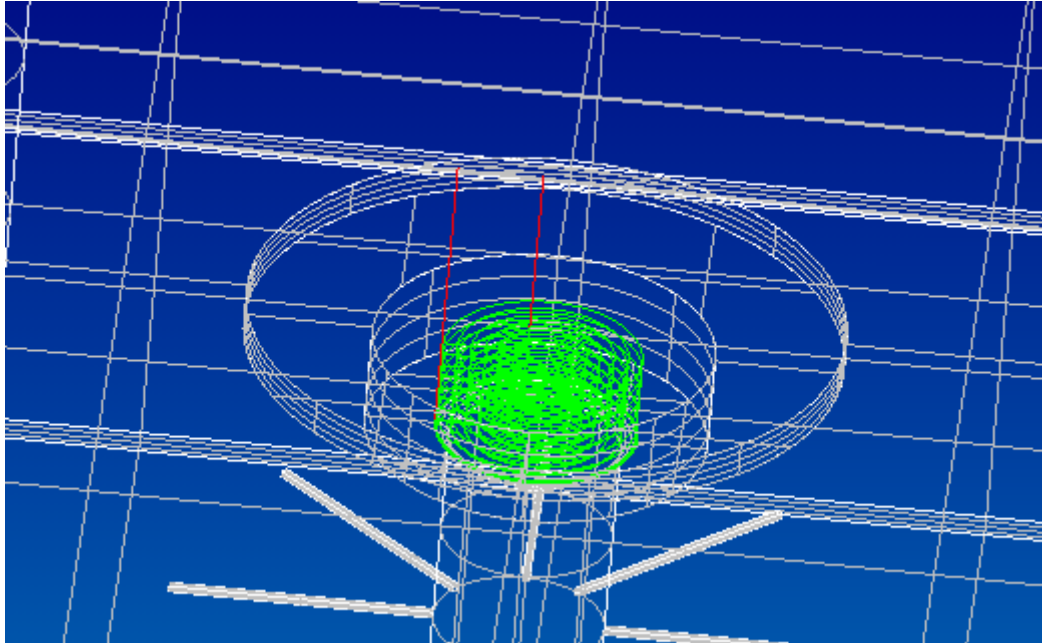


Figura 5.9. Trayectoria correcta de la herramienta

Por ultimo, quedaría ejecutar la simulación de todas las operaciones a la vez, para ver si el mecanizado se ha realizado correctamente. La figura 5.10 muestra la simulación de los orificios mecanizados.

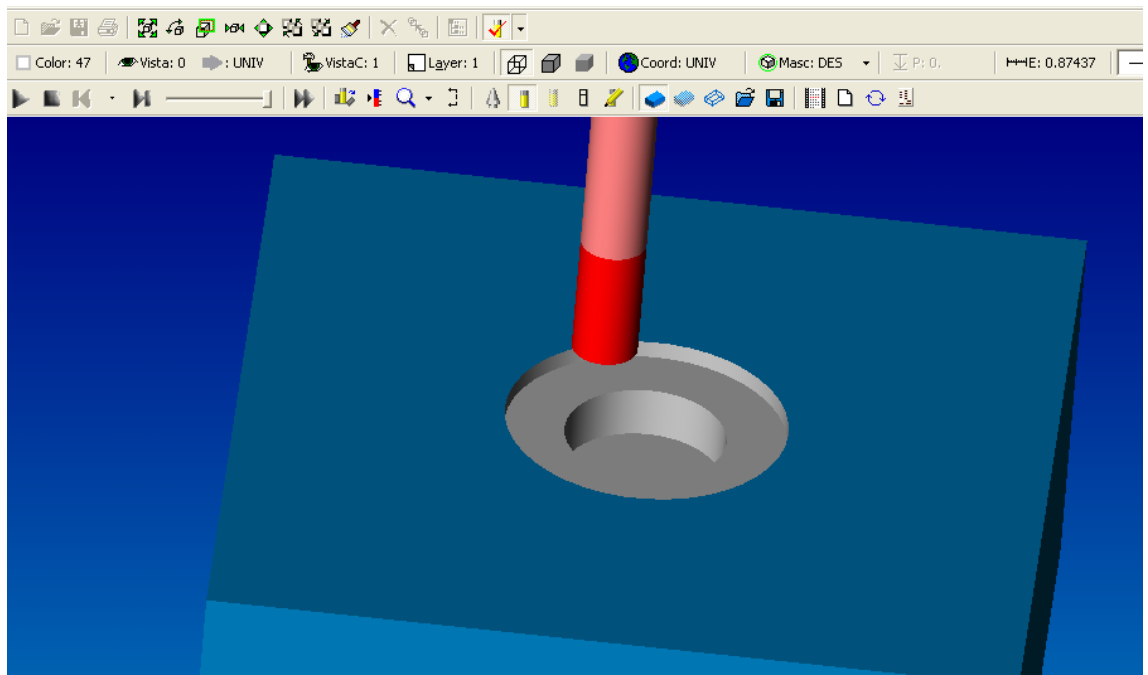


Figura 5.10. Simulación conjunta de ambos mecanizados

Con estas tres operaciones (planeado, caja 1 y caja 2), quedaría definida la placa 1 por su lado superior. Ahora es el momento de girar la placa y sujetarla por el lado contrario. A continuación, se mecanizará el lado inferior de la placa 1.

LADO INFERIOR

En este caso se han realizado cuatro operaciones para definir la placa. Primero, se ha realizado un planeado de 4 mm, al igual que por el otro lado. Después, se han mecanizado los orificios donde irán colocadas las columnas definidas en un apartado anterior. Más tarde, se ha mecanizado el orificio central que va de lado a lado de la placa, que es donde ira colocada la boquilla. Y por ultimo, se han mecanizado los canales de alimentación utilizando la función caja.

A continuación, se pueden observar las figuras donde se definen tanto las trayectorias, como las herramientas y los parámetros utilizados para el correcto mecanizado de toda la placa:

Planeado

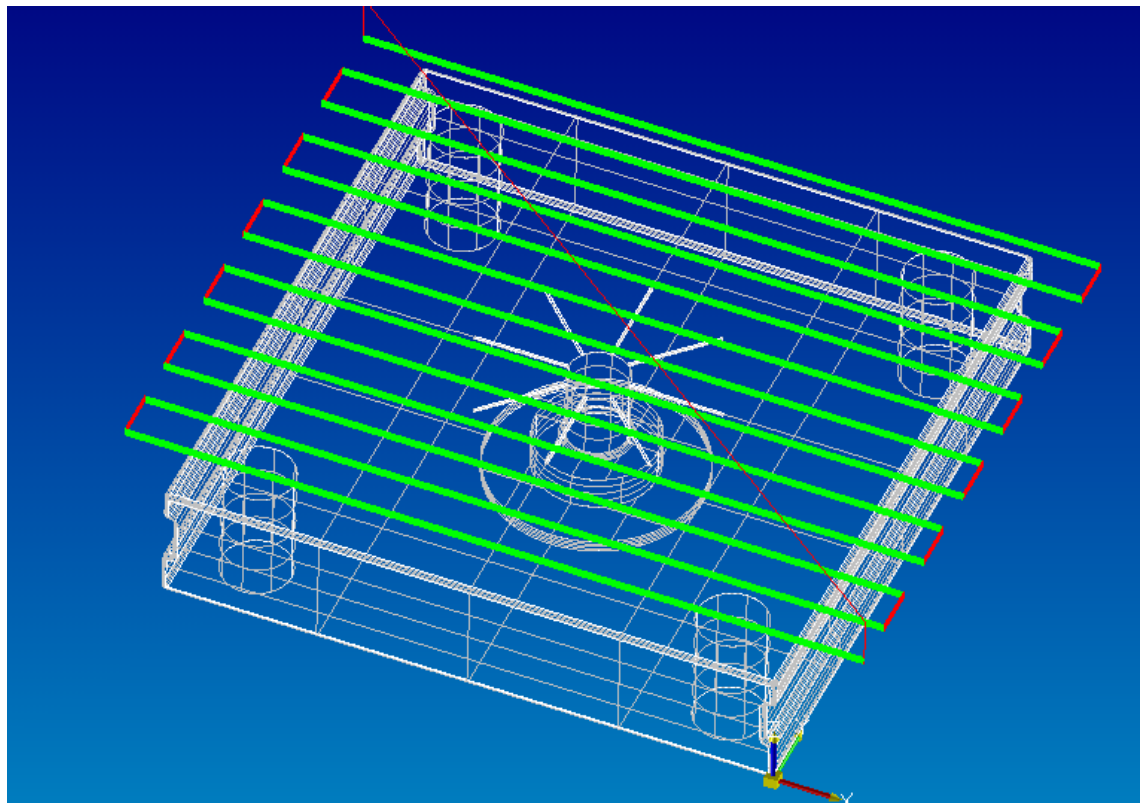


Figura 5.11. Trayectoria de la herramienta

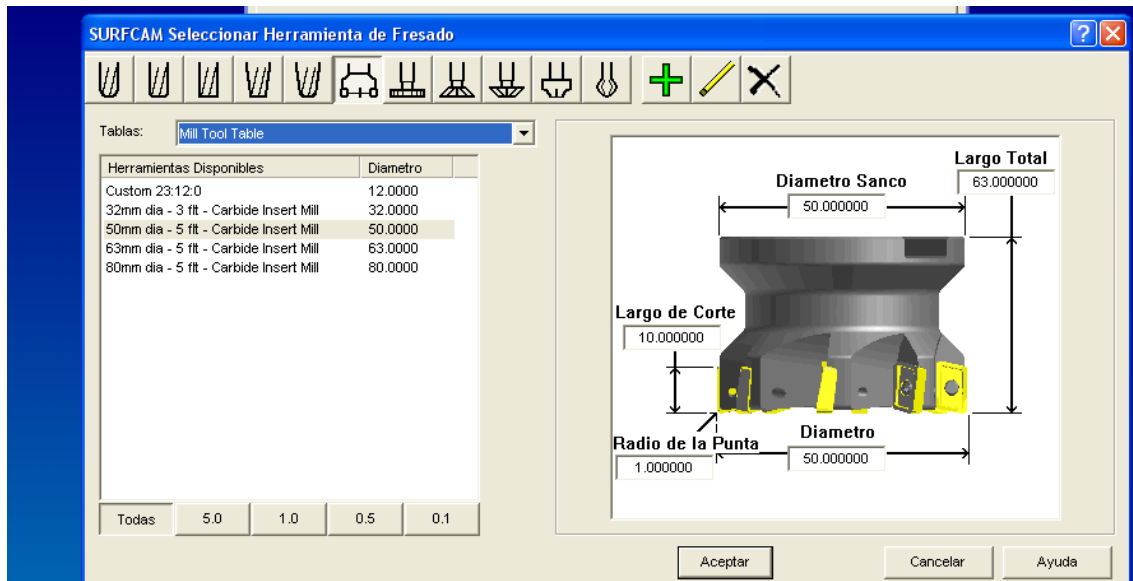


Figura 5.12. Herramienta para planeado

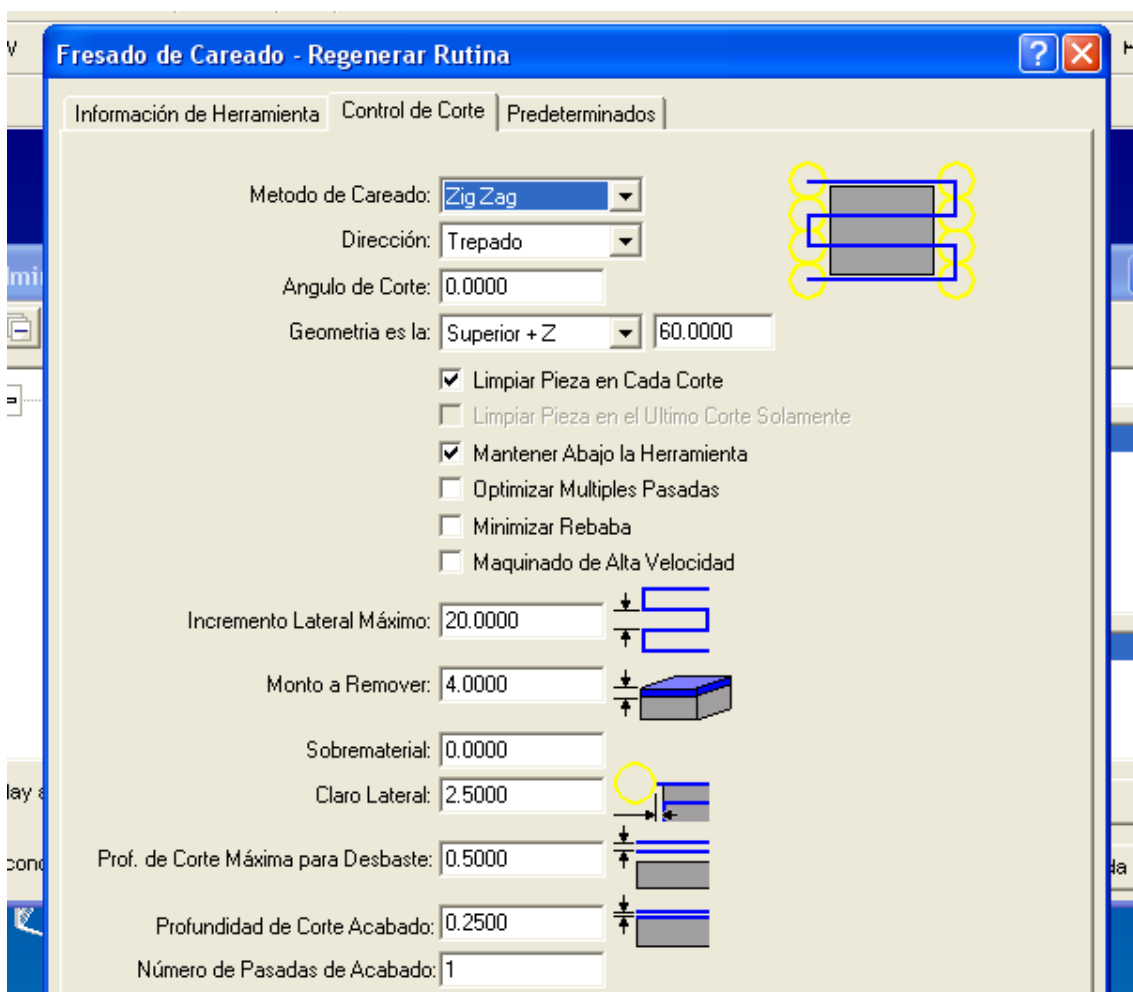


Figura 5.13. Parámetros de planeado

Mecanizado de orificios (4)

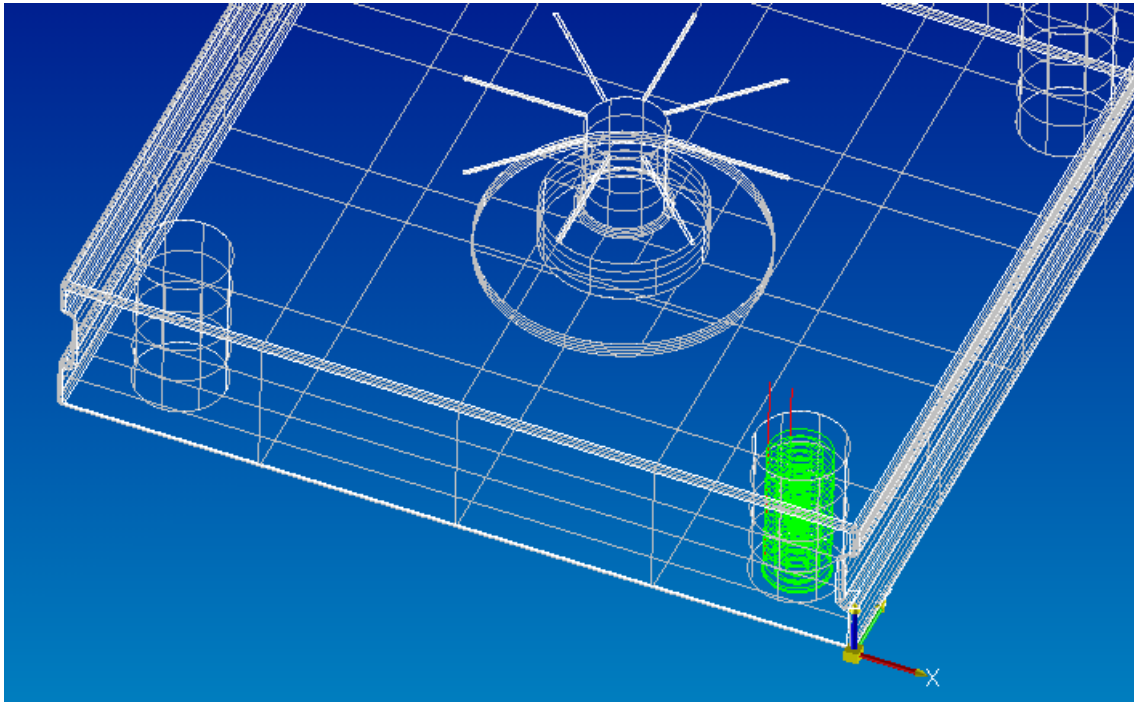


Figura 5.14. Trayectoria de la herramienta

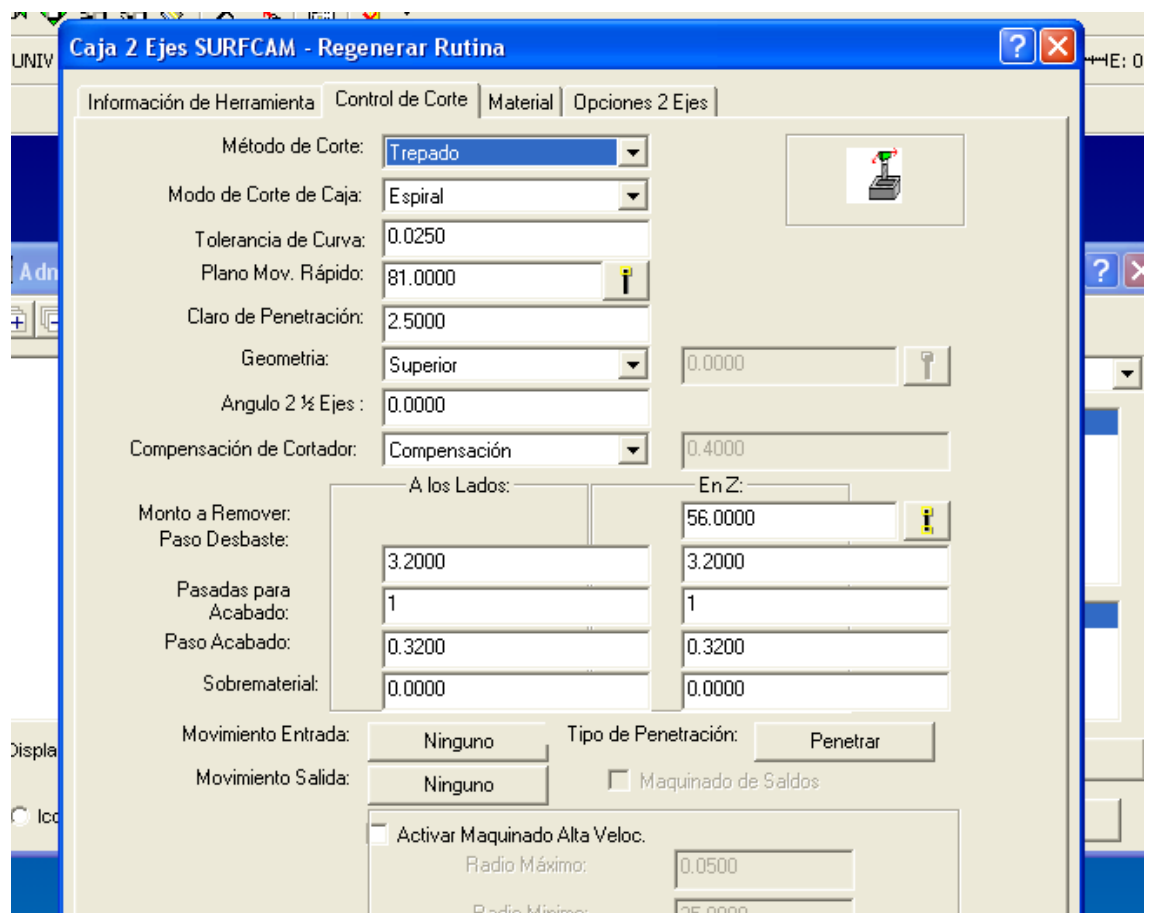


Figura 5.15. Parámetros de mecanizado

Orificio central (pasante)

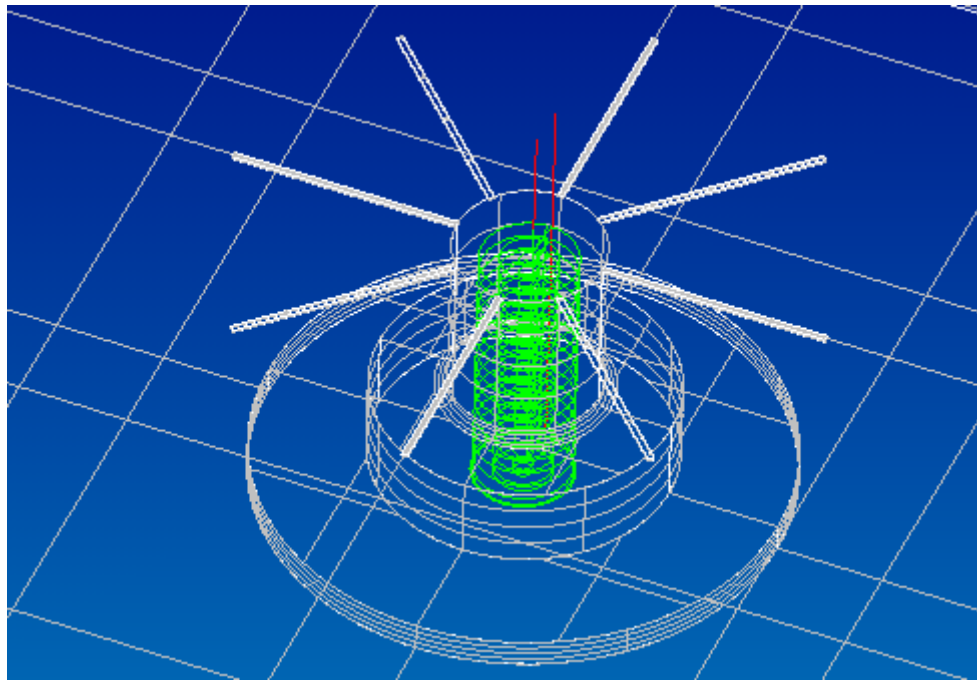


Figura 5.16. Trayectoria de la herramienta

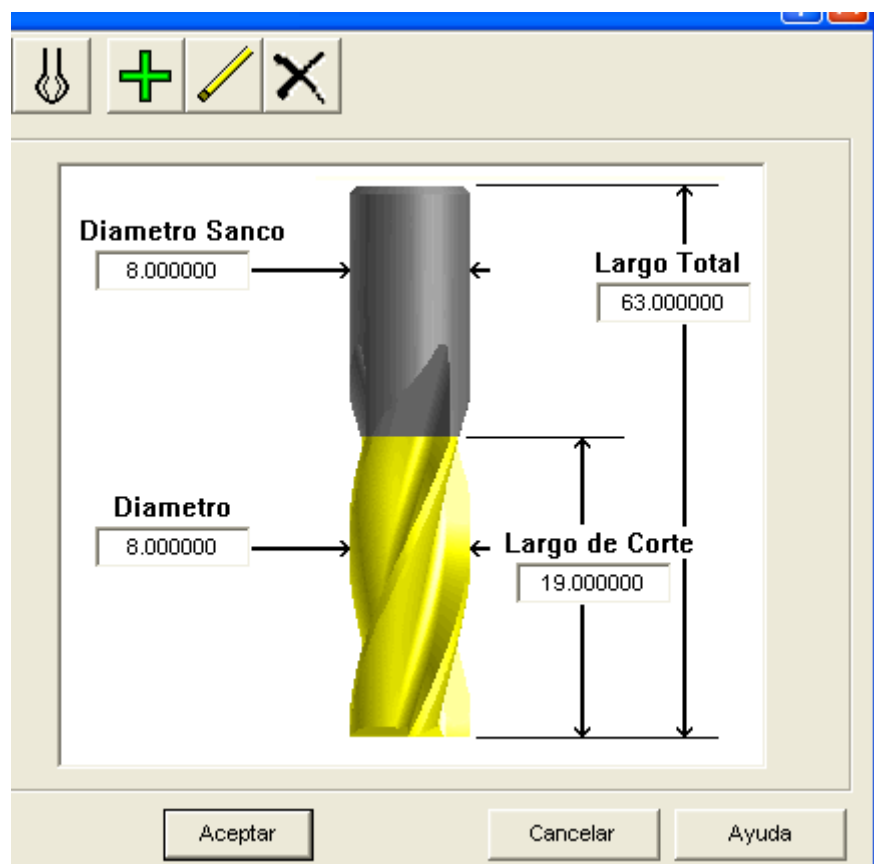


Figura 5.17. Herramienta utilizada

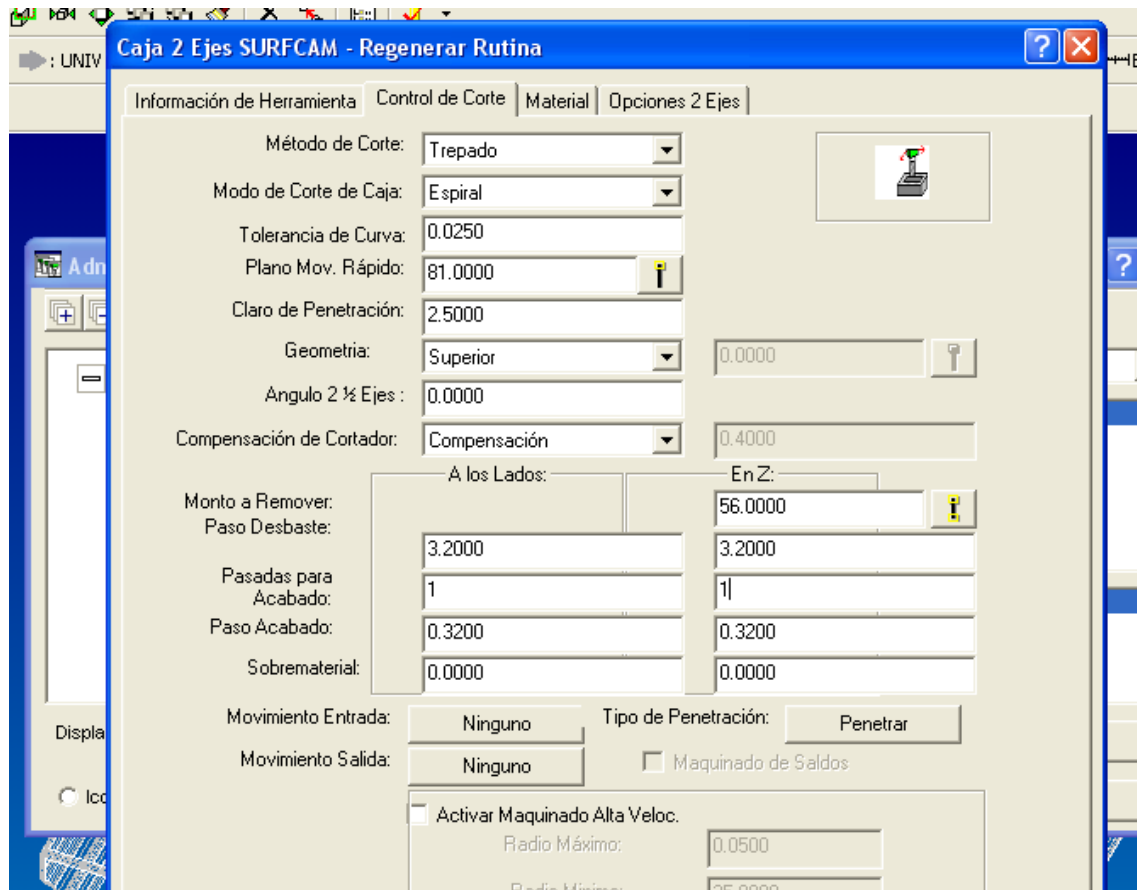


Figura 5.18. Parámetros de mecanizado

En este caso, como el orificio es pasante, es decir, va de lado a lado de la placa, no hace falta introducir el valor superior de Z.

Canales de alimentación

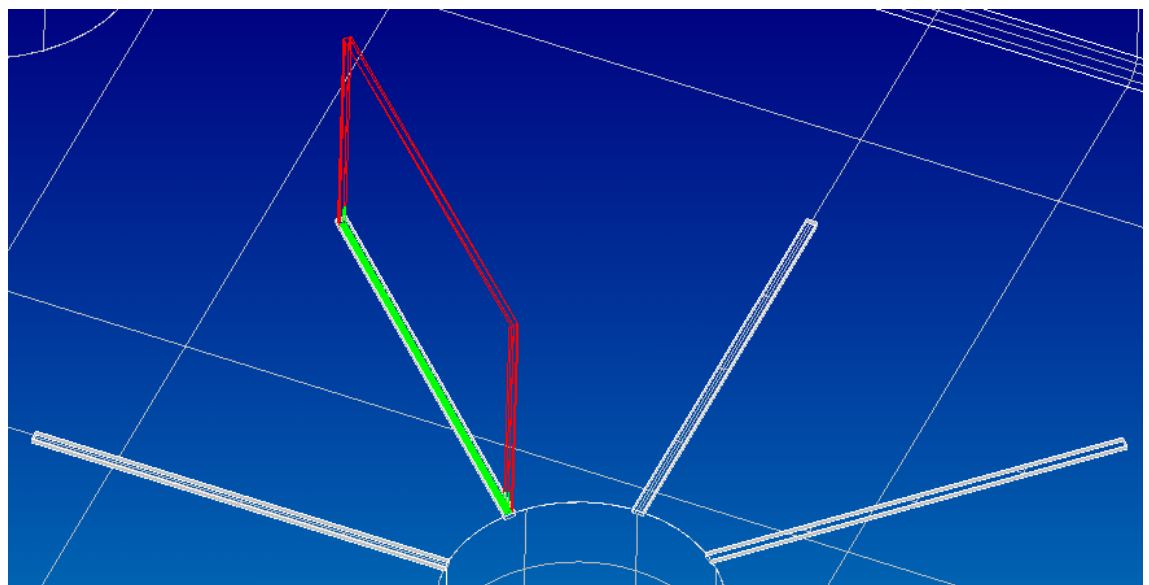


Figura 5.19. Trayectoria de la herramienta en un canal

Para realizar este mecanizado se ha recurrido a la herramienta más pequeña disponible en el programa. Esto se debe a que las dimensiones de los canales son muy pequeñas, por lo tanto se ha utilizado una herramienta de diámetro 1 mm.

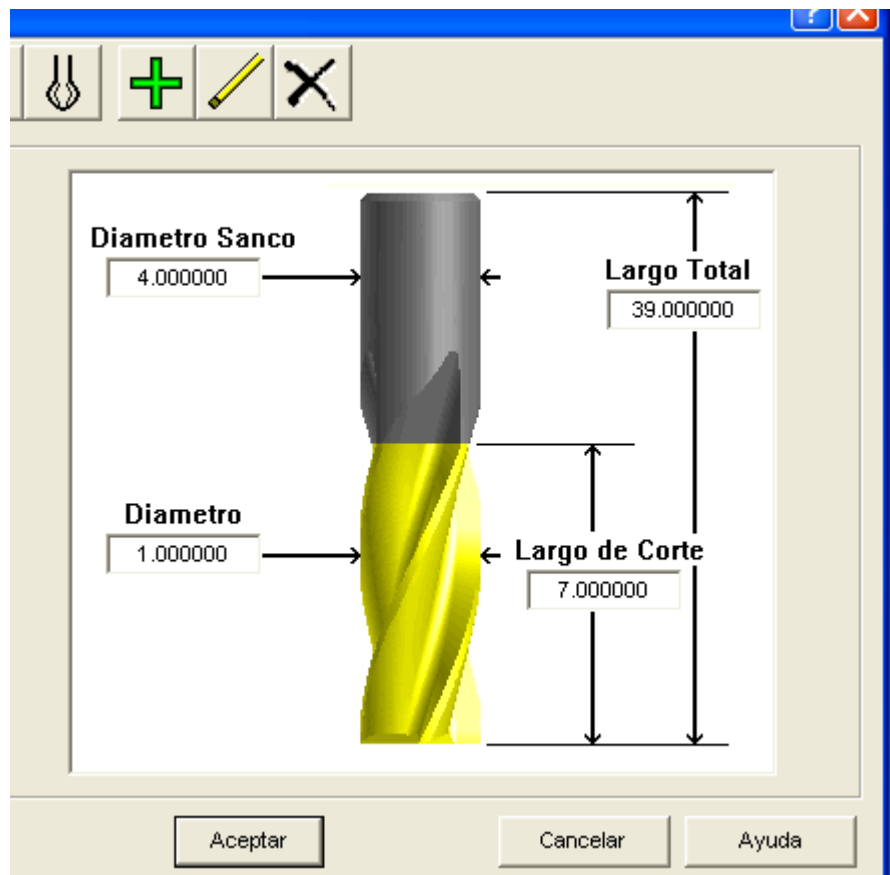


Figura 5.20. Dimensiones de la herramienta

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. 1mm - 2 flute - HSS Endmill
Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 69 Diámetro Herramienta: 1.0000
Compensación Largo: 69 Radio Punta: 0.0000
Compensación Diámetro: 69 Número de Filos: 2
Origen de Pieza: 0 Material Herramienta: Acero Rápido
Husillo: Principal Velocidad Superficial: 30.0
Torreta: Trasero Carga x Filo: 0.012000
Largo Herramienta Z: 0.0000 Calcular Velocidades ☒ Automático
Largo Herramienta X: 0.0000
Refrigerante: Refrigerante

Velocidad Husillo: 9549 SH Velocidad Superficial: 29.9991
Taza de Avance: 229.1831 MMPM Carga x D. Avance: 0.0120
Avance Penetrac: 114.5916 Carga x D. Penetrac: 0.0060
Avance en Rápido: 0.0000

Número Programa: 0 Ins. Comandos P/Post Procesado...
Comentarios: Ninguno

Figura 5.21. Características de la herramienta

En la figura 5.22 se pueden observar los parámetros introducidos para que el mecanizado fuera el correcto. Muy importante el valor “superior + Z”.

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Método de Corte: Trepado
Modo de Corte de Caja: Espiral
Tolerancia de Curva: 0.0250
Plano Mov. Rápido: 81.0000
Claro de Penetración: 2.5000
Geometría: Superior + Z 56.0000
Angulo 2 ½ Ejes: 0.0000
Compensación de Cortador: Compensación 0.0500
Monto a Remover: A los Lados: En Z: 0.5000
Paso Desbaste: 0.2000 0.2000
Pasadas para Acabado: 1 1
Paso Acabado: 0.0200 0.0200
Sobrematerial: 0.0000 0.0000
Movimiento Entrada: Ninguno Tipo de Penetración: Penetrar
Movimiento Salida: Ninguno ☐ Maquinado de Saldos
☐ Activar Maquinado Alta Veloc.

Figura 5.22. Parámetros de mecanizado

Por ultimo, se muestra la imagen final después de realizar la simulación completa del lado inferior de la placa 1. (Figura 5.23).

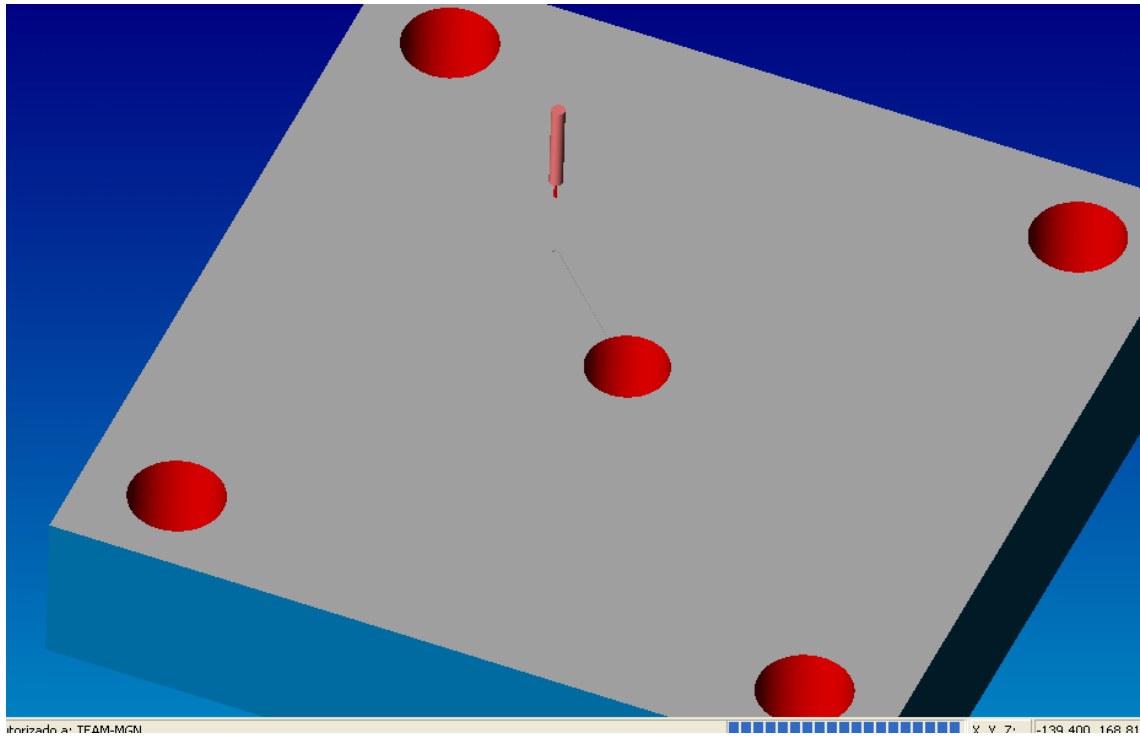


Figura 5.23. Simulación de la parte inferior de la Placa 1

5.2 PLACA 2

LADO SUPERIOR

En la placa 2 también se ha realizado el mecanizado por ambos lados de la placa. Por lo tanto, después de mecanizar un lado se procederá al mecanizado del lado opuesto. En esta placa continua parte de los canales de alimentación, ya que este está dividido entre la placa 1 y 2. También están presentes los orificios (4) donde se colocan las columnas de sujeción. Como en la placa 1, antes de realizar cualquier operación de mecanizado, se ha planeado la placa por ambos lados. Tanto las herramientas como los parámetros utilizados para esta operación son los mismos que en el apartado anterior, con la única diferencia del espesor de las placas.

La placa 1 parte de un espesor de 60 mm y en este caso la placa 2 tiene un espesor de 40 mm.

Como previamente se ha dicho, la placa 2 contiene la mitad del espesor de los canales de alimentación, y además de esto también contiene un pozo frío para que el material fluya mejor por estos canales. En este caso solo se definirá el mecanizado del pozo frío ya que todas las demás operaciones son iguales que las de la placa 1, con la única diferencia del espesor de la placa. Figura 5.24, donde se ve la geometría completa de la placa 2.

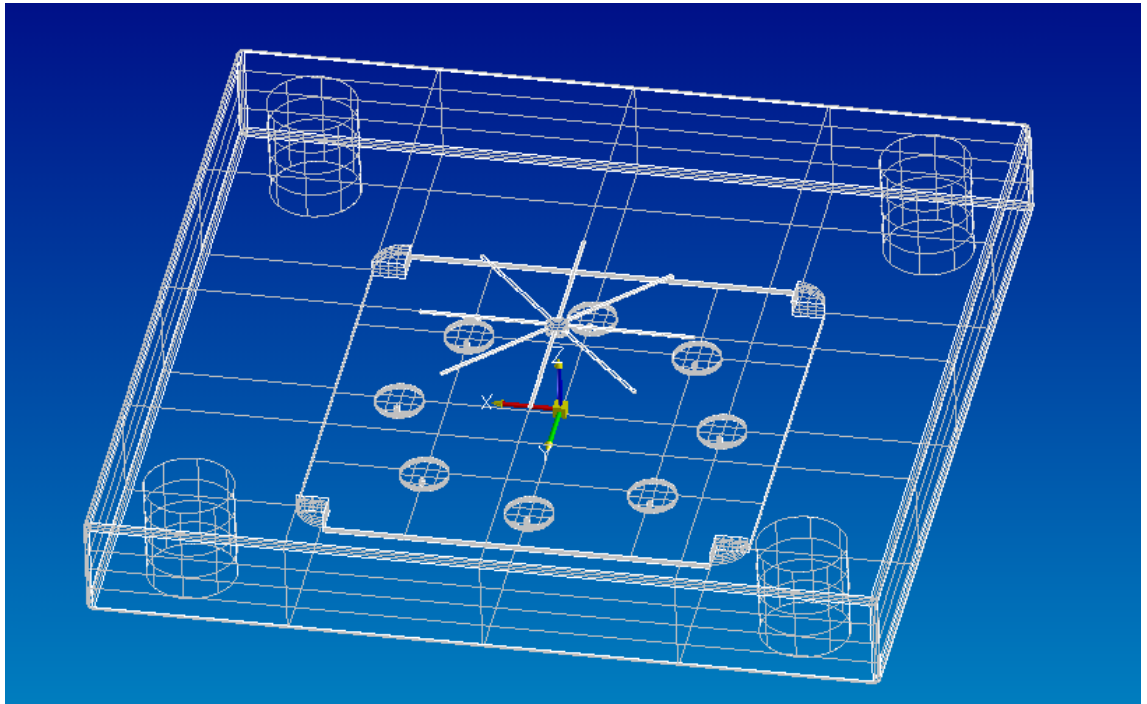


Figura 5.24. Geometría de la Placa 2

En la figura 5.25 se aprecia la trayectoria que sigue la herramienta para mecanizar el pozo frío.

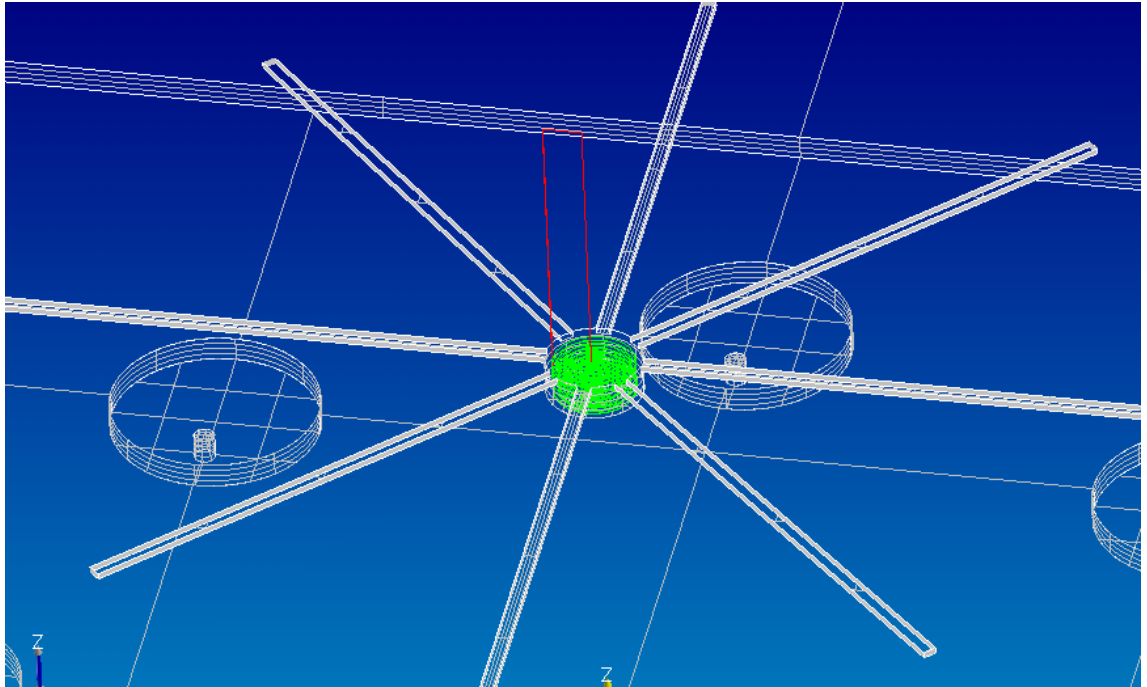


Figura 5.25. Trayectoria de la herramienta

Para realizar ese mecanizado se ha utilizado una herramienta de pequeño diámetro, ya que sino no sería posible mecanizar dicho pozo. (Ver figura 5.26 y 5.27).

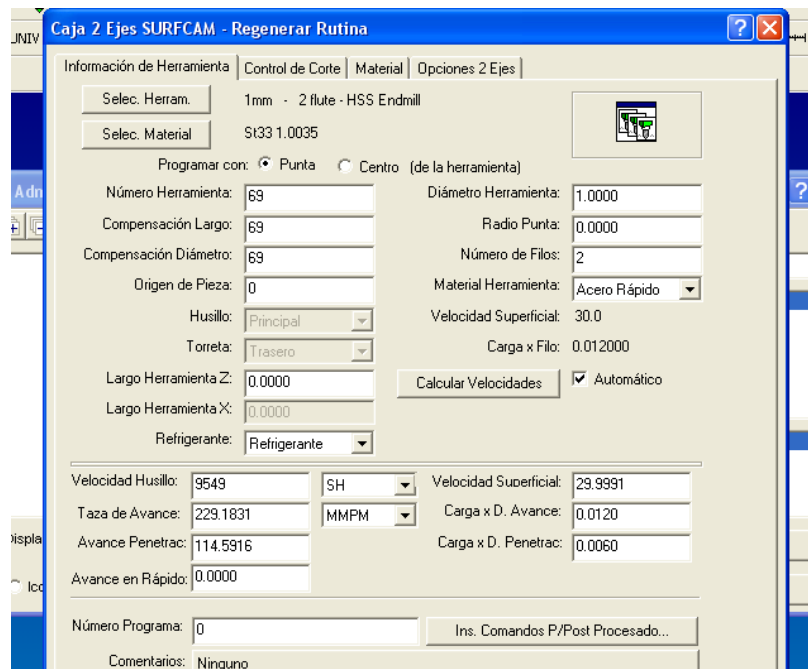


Figura 5.26. Características de la herramienta

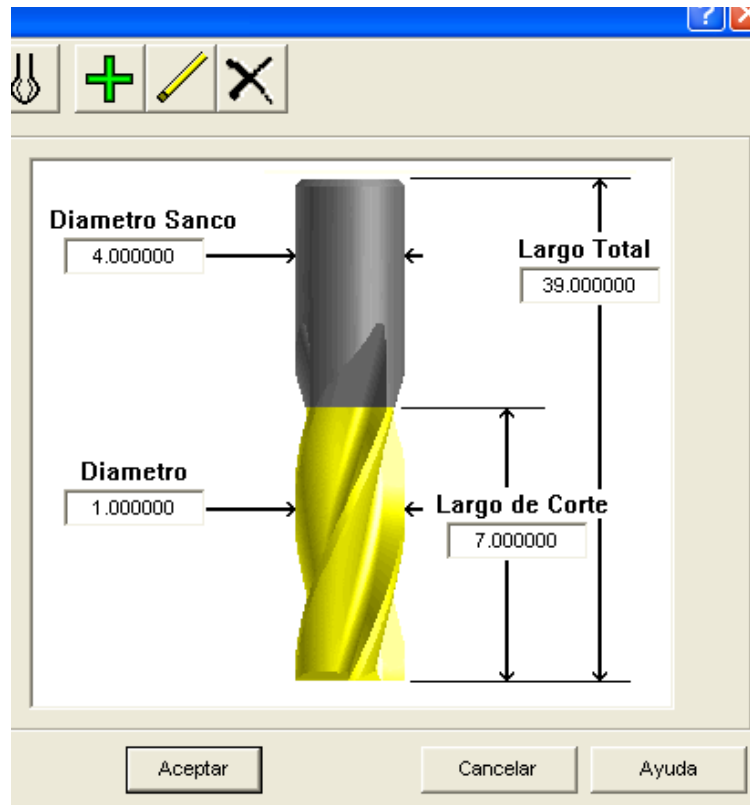


Figura 5.27. Dimensiones de la herramienta

Para finalizar con el apartado del pozo frio, hay que definir los parámetros utilizados. En la figura 5.28 se definen estos parámetros.

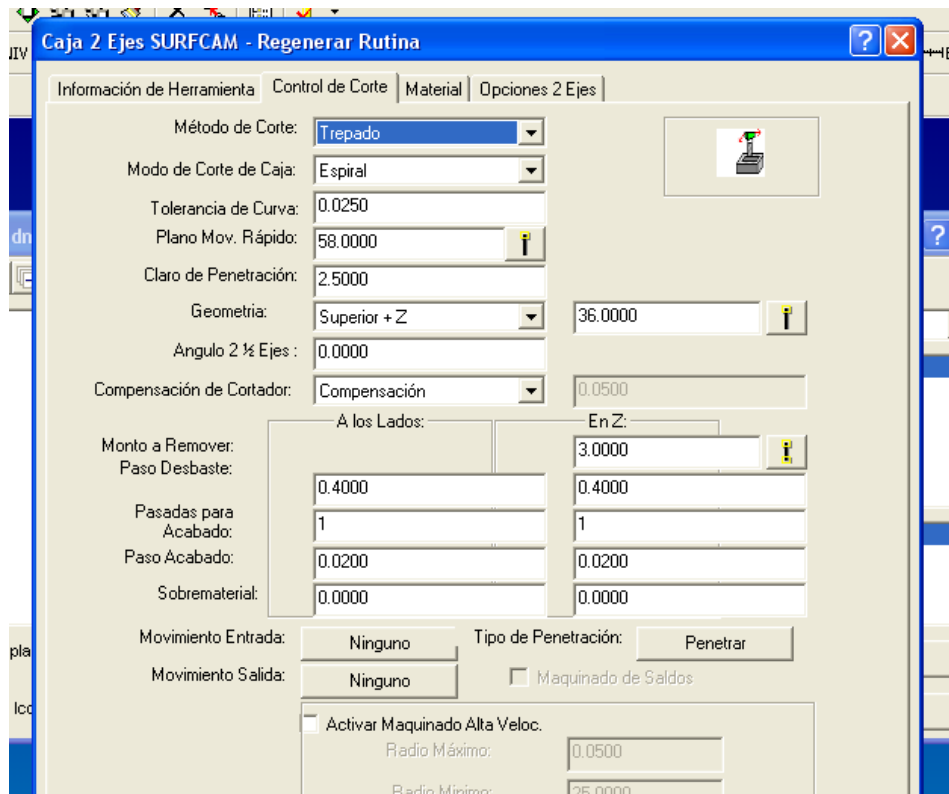


Figura 5.28. Parámetros de mecanizado

A continuación, se muestra la simulación completa de la parte superior de la placa 2. (Figura 5.29).

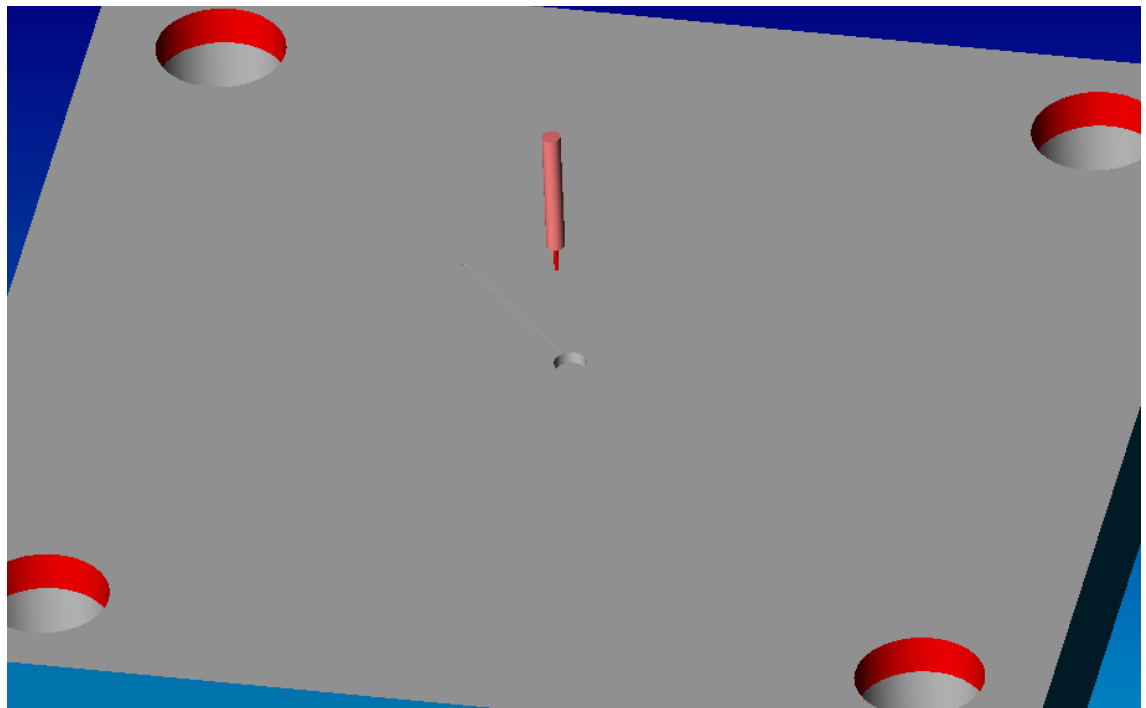


Figura 5.29. Simulación de la parte superior de la Placa 2

Debido al color de la pieza, no se aprecia muy bien la ranura del canal de alimentación. Esta se inicia desde el pozo frío y tiene una longitud de 50 mm. Al

igual que con esa ranura mecanizada, habría que hacer lo mismo para los 7 restantes canales, que están distribuidos de forma radial.

LADO INFERIOR

En este lado de la placa se han realizado 3 operaciones de mecanizado. Dos de ellas utilizando la función de contorneado, y la otra mediante la función caja.

La primera operación ha sido la del contorno de la placa. A continuación se muestra una figura (figura 5.30) donde se define la placa por la parte inferior y a su vez se observa la operación de contorneado.

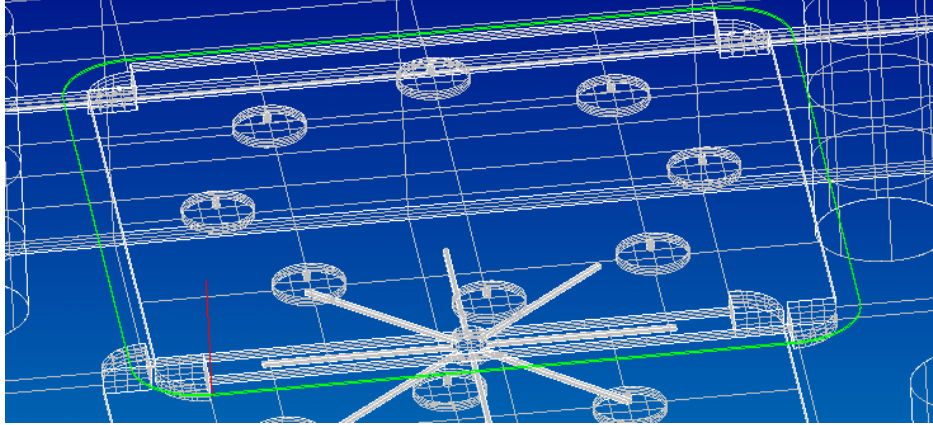


Figura 5.30. Operación de contorneado

Para realizar esta operación se ha utilizado una herramienta que viene definida en la figura 5.31 y 5.32. En ellas se pueden apreciar las características y dimensiones de la herramienta.

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. 10mm - 4 flute - HSS Endmill

Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 138

Compensación Largo: 138

Compensación Diámetro: 138

Origen de Pieza: 0

Husillo: Principal

Torreta: Trasero

Largo Herramienta Z: 0.0000

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 10.0000

Radio Punta: 0.0000

Número de Filos: 4

Material Herramienta: Acero Rápido

Velocidad Superficial: 30.0

Carga x Filo: 0.840000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 955 SH

Taza de Avance: 3208.5637 MMPM

Avance Penetrac: 1604.2818

Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 30.0022

Carga x D. Avance: 0.8399

Carga x D. Penetrac: 0.4200

Número Programa: 0

Comentarios: Ninguno

Ins. Comandos P/Post Procesado...

Abrir Guardar Guardar Como Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 5.31. Características de la herramienta

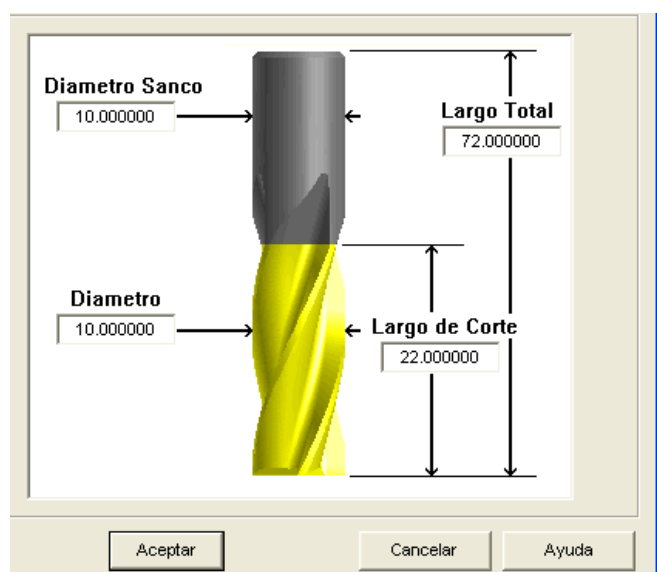


Figura 5.32. Dimensiones de la herramienta

Cabe destacar, que para esta operación era necesario utilizar una herramienta de diámetro menor o igual a 10 mm, porque sino no sería posible alcanzar el radio de 10 mm que tiene la curva de la placa.

Para finalizar con este primer contorneado, se muestran los parámetros introducidos. (Figura 5.33).

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Método de Corte: Trepado

Tolerancia de Curva: 0.0250

Plano Mov. Rápido: 101.0000

Claro de Penetración: 2.5000

Geometría: Superior + Z

Angulo 2 1/2 Ejes: 0.0000

Compensación de Cortador: Compensación

A los Lados: 0.0000 En Z: 2.0000

Monto a Remover: 0.0000

Paso Desbaste: 4.0000

Pasadas para Acabado: 1

Paso Acabado: 0.4000

Sobrematerial: 0.0000

Movimiento Entrada: Ninguno Tipo de Penetración: Penetrar

Movimiento Salida: Ninguno

☐ Maquinado de Saldos

☐ Activar Maquinado Alta Veloc.

Radio Máximo: 0.0500

Radio Mínimo: 25.0000

☐ Desactivar en pasadas de acabado

Abrir Guardar Guardar Como Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 33. Parámetros de mecanizado

La segunda operación de contorneado tiene como objetivo definir los topes donde irán situadas las cavidades. Además, más tarde se realizara un mecanizado en cada círculo de estos, que es donde estarán ubicados los ataques.

La figura 5.34 muestra la trayectoria que sigue la herramienta para realizar esos topes que se han definido previamente.

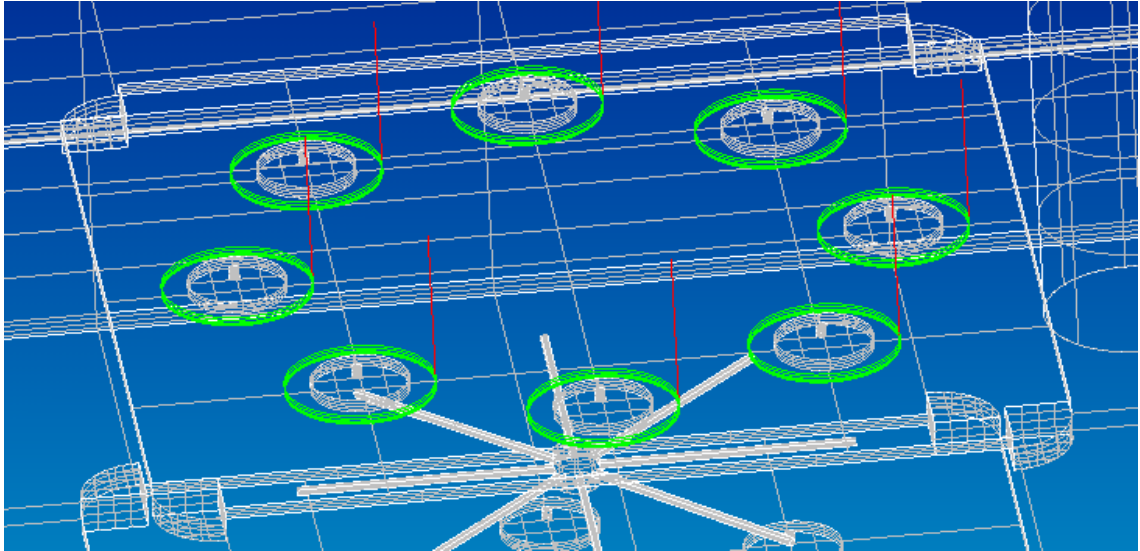


Figura 5.34. Trayectoria de la herramienta

La herramienta utilizada para esta operación tiene un diámetro de 8 mm y también las características mostradas en las figuras 5.35 y 5.36.

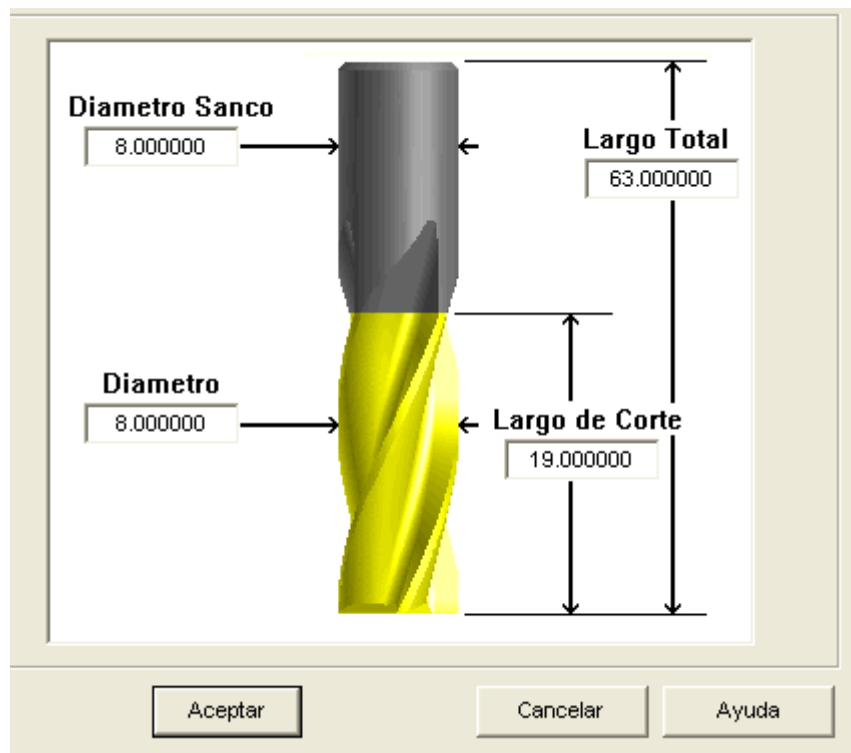


Figura 5.35. Dimensiones de la herramienta

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram.: 8mm - 2 flute - HSS Endmill
Selec. Material: St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 77
Compensación Largo: 77
Compensación Diámetro: 77
Origen de Pieza: 0
Husillo: Principal
Torreta: Trasero
Largo Herramienta Z: 0.0000
Largo Herramienta X: 0.0000
Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 8.0000
Radio Punta: 0.0000
Número de Filos: 2
Material Herramienta: Acero Rápido
Velocidad Superficial: 30.0
Carga x Filo: 0.078000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 1194 SH
Taza de Avance: 186.2113 MMPM
Avance Penetrac: 93.1056
Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 30.0085
Carga x D. Avance: 0.0780
Carga x D. Penetrac: 0.0390

Número Programa: 0
Comentarios: Ninguno

Ins. Comandos P/Post Procesado...

Abrir | Guardar | Guardar Como | Aceptar | Cancelar | Ayuda

Figura 5.36. Características de la herramienta

Para definir por completo esta operación de contorneado de círculos, se muestran los parámetros introducidos en el programa. (Figura 5.37).

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Método de Corte: Trepado

Tolerancia de Curva: 0.0250
Plano Mov. Rápido: 101.0000
Claro de Penetración: 2.5000
Geometría: Superior + Z 76.0000
Angulo 2 1/2 Ejes: 0.0000
Compensación de Cortador: Compensación 0.4000

A los Lados: 0.0000
En Z: 2.0000

Monto a Remover: 0.0000
Paso Desbaste: 3.2000
Pasadas para Acabado: 1
Paso Acabado: 0.3200
Sobrematerial: 0.0000

0.5000
0.2500
0.0000

Figura 5.37. Parámetros de mecanizado

Para dar por acabado el mecanizado de la placa 2, a continuación, se definen la trayectoria y dimensiones del ataque de una cavidad. Cada cavidad contiene un único ataque por lo que se debe repetir esta operación siete veces más en una dirección radial. (Cada 45 °).

La figura 5.38 muestra la trayectoria que sigue la herramienta seleccionada para conseguir el mecanizado deseado.

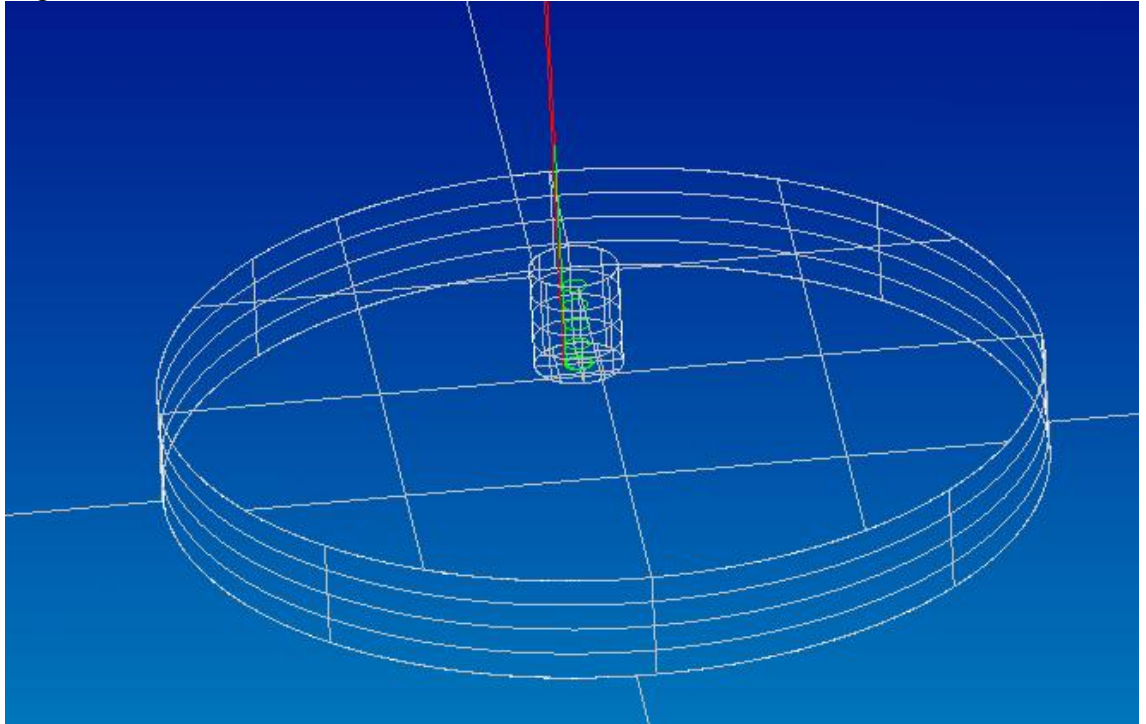


Figura 5.38. Trayectoria para conseguir mecanizar el ataque

Además de esa entrada de material, es obligatorio comentar que cada ataque tiene un orificio cónico que va de lado a lado de la placa. En el capítulo que habla del diseño del molde, se define esta geometría cónica

También es importante definir la herramienta utilizada para dicho mecanizado, ya que al ser una geometría tan pequeña, se ha tenido que seleccionar una de las herramientas más pequeñas disponibles. (Figura 5.39).

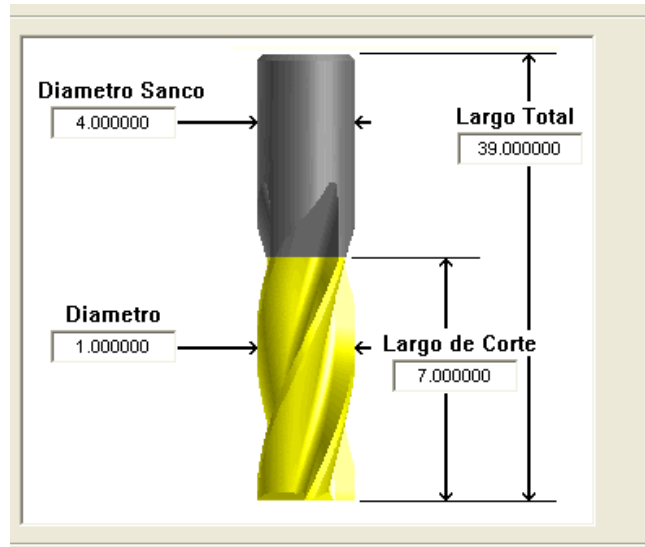


Figura 5.39. Herramienta utilizada para el mecanizado

Para realizar esta operación de mecanizado se han tenido que introducir unos parámetros que vienen definidos en la figura 5.40.

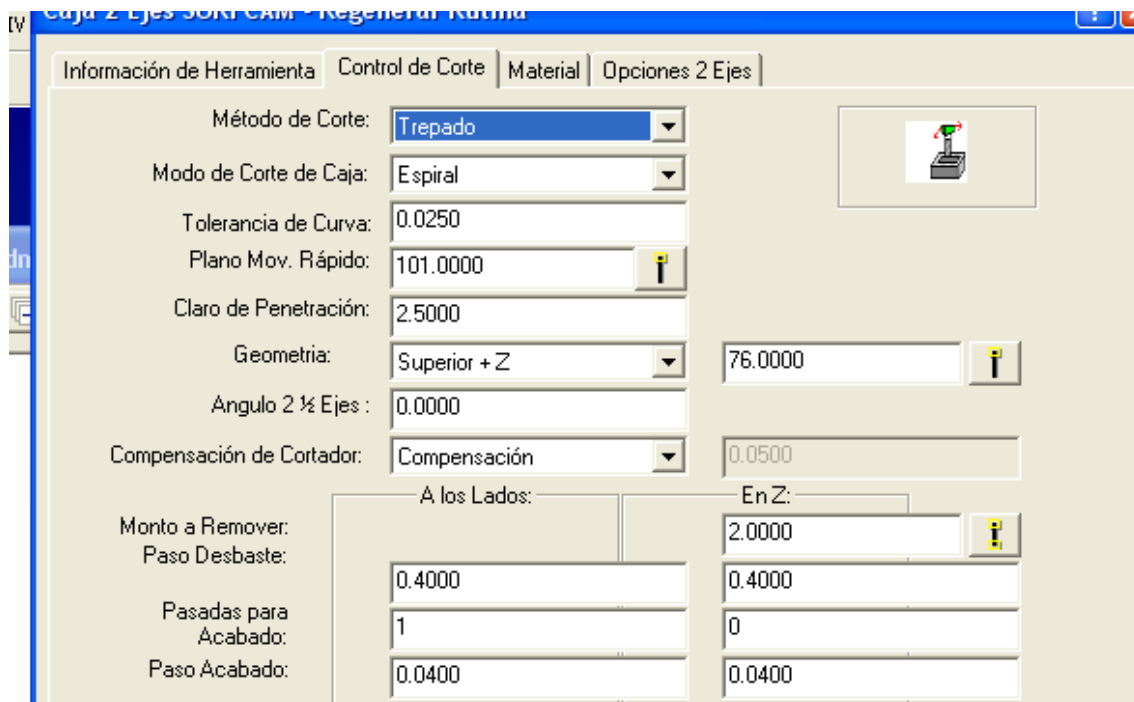


Figura 5.40. Parámetros de mecanizado

Con esto se da por concluido el mecanizado de la placa 2. Para finalizar el proceso de fabricación del molde de inyección, se van a definir las operaciones realizadas en la placa 3, tanto por el lado superior como el inferior.

5.3 PLACA 3

LADO SUPERIOR

Al igual que en las dos placas anteriores, en esta tercera placa también se va a iniciar realizando un planeado de 4 mm. Dado que ha quedado definida esta operación anteriormente, se va a continuar describiendo las restantes operaciones realizadas en esta placa.

En lado superior de la placa 3 se han realizado dos operaciones de mecanizado principalmente. La primera, un contorneado de la placa donde van situadas las 8 cavidades de los engranajes. Como se ha comentado con anterioridad, en este caso también hace falta utilizar una herramienta de diámetro menor o igual a 10 mm, ya que sino sería imposible mecanizar dicha geometría. Por lo tanto, a continuación se muestran las figuras 5.41, 5.42 y 5.43 donde quedará totalmente definida esta operación de contorneado.

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. 10mm - 4 flute - HSS Endmill

Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 138

Compensación Largo: 138

Compensación Diámetro: 138

Origen de Pieza: 0

Husillo: Principal

Torreta: Trasero

Largo Herramienta Z: 0.0000

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 10.0000

Radio Punta: 0.0000

Número de Filos: 4

Material Herramienta: Acero Rápido

Velocidad Superficial: 30.0

Carga x Filo: 0.840000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 955 SH

Taza de Avance: 3208.5637 MMPM

Avance Penetrac: 1604.2818

Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 30.0022

Carga x D. Avance: 0.8399

Carga x D. Penetrac: 0.4200

Figura 5.41. Características de la herramienta

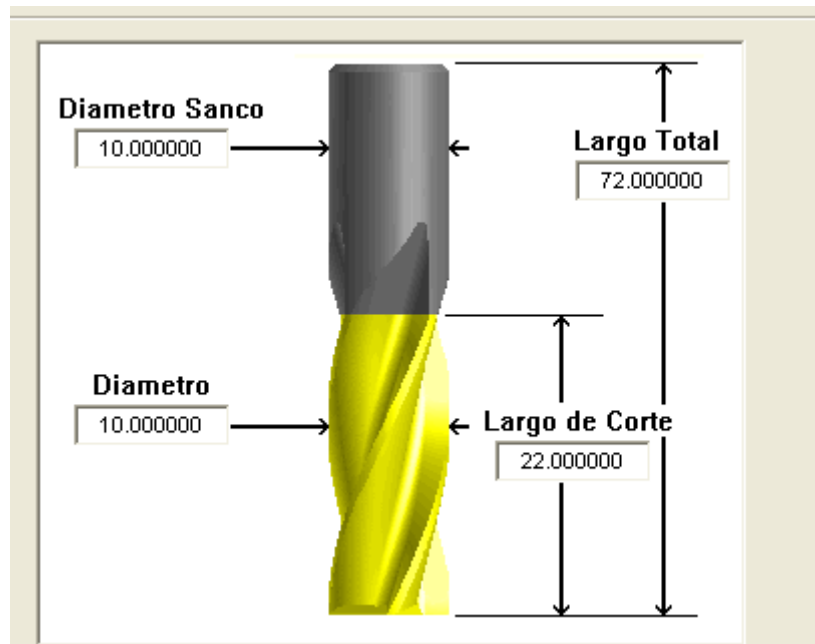


Figura 5.42. Dimensiones de la herramienta

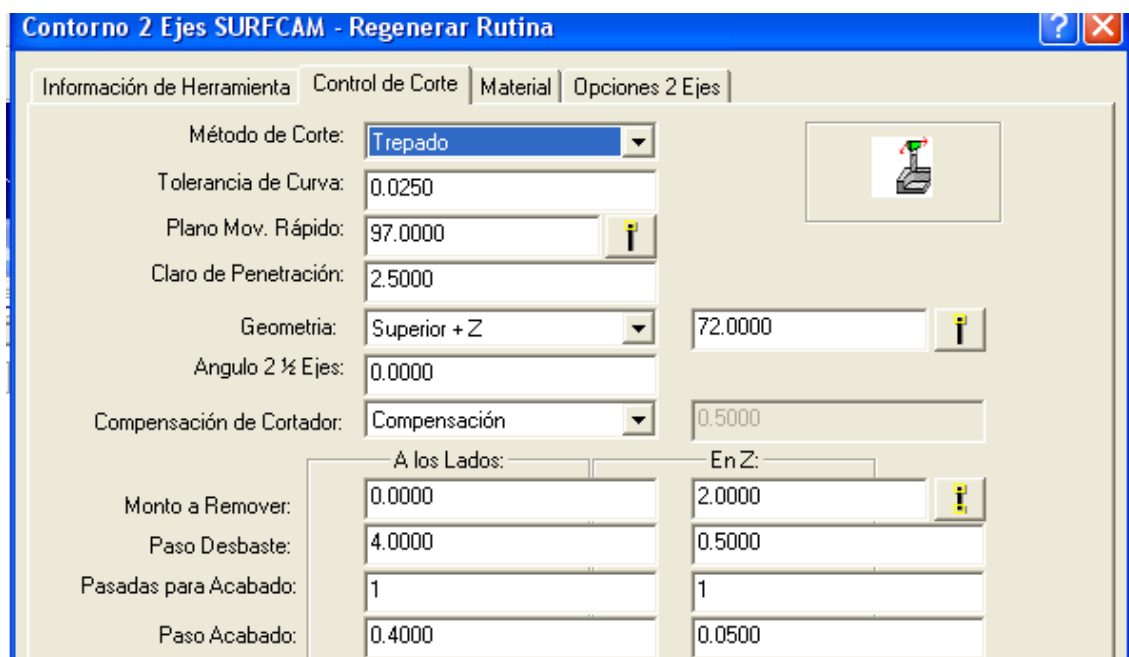


Figura 5.43. Parámetros de mecanizado

La segunda operación principal en este lado de la placa ha sido la de mecanizar la geometría de las cavidades. A continuación, se define el proceso de realización de estos. Se ha mecanizado una cavidad, pero utilizando la repetición de rutinas y la operación de simetría, se pueden realizar otras siete operaciones idénticas a esta para mecanizarla por completo.

Para mecanizar las cavidades se ha repartido la operación en tres sub-operaciones. Primero, se ha mecanizado la forma de los dientes. Posteriormente, se ha eliminado el material sobrante cercano a los dientes y por ultimo, se ha realizado una operación de contorneado para conseguir la profundidad adecuada de la cavidad.

A continuación, se pueden observar una serie de figuras donde se definen estas tres operaciones.

Mecanizado de dientes

Las figuras 5.44, 5.45, 5.46 y 5.47 sirven para definir la operación completa de mecanizado de dientes. Además de la trayectoria de la herramienta, también se definen las dimensiones de esta y los parámetros introducidos para conseguir el mecanizado deseado.

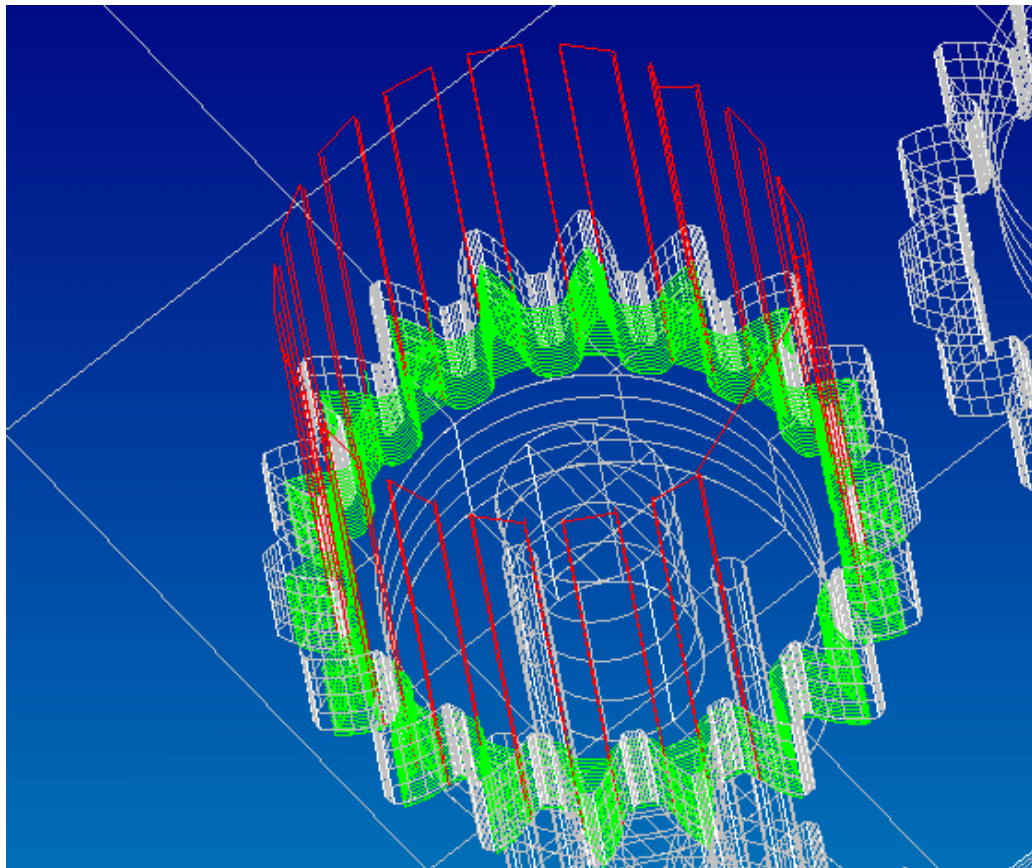


Figura 5.44. Trayectoria de la herramienta

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selecc. Herram. Personalizado 0:1:0

Selecc. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 0

Compensación Largo: 0

Compensación Diámetro: 0

Origen de Pieza: 0

Husillo: Principal

Torreta: Trasero

Largo Herramienta Z: 0.0000

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 1.0000

Radio Punta: 0.0000

Número de Filos: 2

Material Herramienta: Acero Rápido

Velocidad Superficial: 30.0

Carga x Filo: 0.012000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 9549 SH

Taza de Avance: 229.1831 MMPM

Avance Penetrac: 114.5916

Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 29.9991

Carga x D. Avance: 0.0120

Carga x D. Penetrac: 0.0060

Figura 5.45. Características de la herramienta

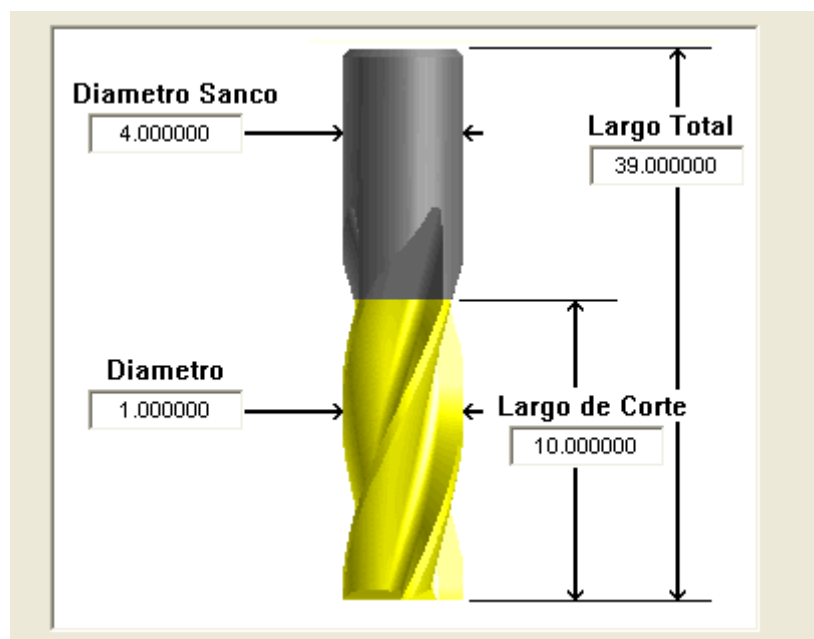


Figura 5.46. Dimensiones de la herramienta

Hay que destacar que la herramienta utilizada para esta operación ha sido personalizada, ya que no había herramientas con esa longitud de diámetro tan pequeño. Es una de las ventajas que da este programa, pudiendo conseguir infinidad de tipos y dimensiones de pieza.



Figura 5.47. Parámetros de mecanizado

Contorneado en profundidad

Esta operación se ha realizado en dos partes, primero se ha hecho un contorneado de 8 mm de profundidad. Así, se ha podido eliminar todo el material que sobraba alrededor de los dientes. Mas tarde, se ha realizado un segundo contorneado, este de 10 mm de profundidad, llegando así a los 18 mm de espesor que tiene la pieza inyectada en este molde.

Se ha dividido en dos partes para que la primera operación pudiera eliminar todo el material sobrante. La primera operación se ha realizado con una herramienta de mayor diámetro. En las figuras 5.48, 5.49 y 5.50 se pueden observar tanto las dimensiones de la herramienta, como los parámetros introducidos en el programa.

Contorno 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. 6mm - 4 flute - HSS Endmill

Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 136

Compensación Largo: 136

Compensación Diámetro: 136

Origen de Pieza: 0

Husillo: Principal

Torreta: Trasero

Largo Herramienta Z: 0.0000

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Diámetro Herramienta: 6.0000

Radio Punta: 0.0000

Número de Filos: 4

Material Herramienta: Acero Rápido

Velocidad Superficial: 30.0

Carga x Filo: 0.072000

Calcular Velocidades ☒ Automático

Velocidad Husillo: 1592 SH

Taza de Avance: 458.3662 MMPM

Avance Penetrac: 229.1831

Avance en Rápido: 0.0000

Velocidad Superficial: 30.0085

Carga x D. Avance: 0.0720

Carga x D. Penetrac: 0.0360

Figura 5.48. Características de la herramienta

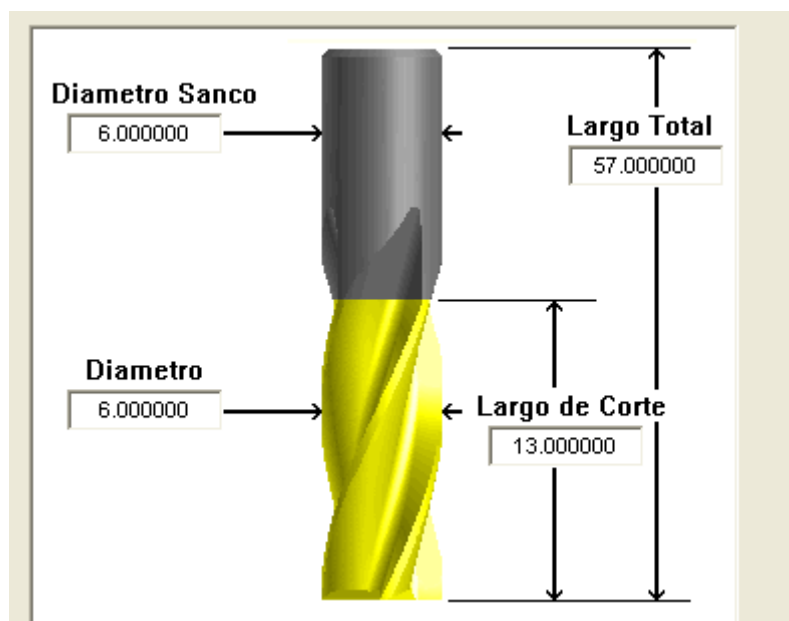


Figura 5.49. Dimensiones de la herramienta

Parámetro	Valor
Método de Corte:	Trepado
Tolerancia de Curva:	0.0250
Plano Mov. Rápido:	99.0000
Claro de Penetración:	2.5000
Geometría:	Superior + Z
Angulo 2 ½ Ejes:	0.0000
Compensación de Cortador:	Compensación
Monto a Remover:	0.0000
Paso Desbaste:	2.4000
Pasadas para Acabado:	1
Paso Acabado:	0.2400
A los Lados:	0.0000
En Z:	8.0000
Geometría (derecha):	72.0000
Compensación (derecha):	0.3000
Paso Desbaste (derecha):	2.4000
Pasadas para Acabado (derecha):	1
Paso Acabado (derecha):	0.2400

Figura 5.50. Parámetros de mecanizado

Queda así definida la primera de las dos operaciones de contorneado. Para la siguiente operación la herramienta utilizada ha sido diferente. A continuación, se definen sus dimensiones, y también los parámetros necesarios para que el mecanizado sea correcto. (Figuras 5.51 y 5.52).

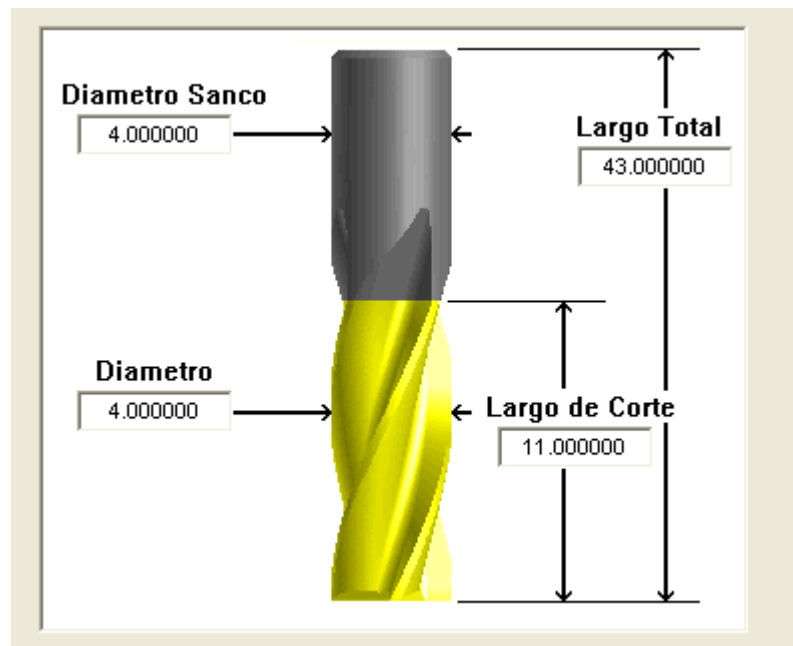


Figura 5.51. Dimensiones de la herramienta

Parámetro	Valor
Método de Corte:	Trepado
Tolerancia de Curva:	0.0250
Plano Mov. Rápido:	99.0000
Claro de Penetración:	2.5000
Geometría:	Superior + Z
Angulo 2 ½ Ejes:	0.0000
Compensación de Cortador:	Compensación
Monto a Remover:	0.0000
Paso Desbaste:	1.6000
Pasadas para Acabado:	1
Paso Acabado:	0.1600

Parámetro	Valor
A los Lados:	0.0000
En Z:	10.0000
	1.6000
	1
	0.1600

Figura 5.52. Parámetros introducidos

De la combinación de ambas operaciones se consigue la trayectoria de mecanizado definida en la figura 5.53. Esta es la última operación de mecanizado que se realiza en el lado superior de la placa 3.

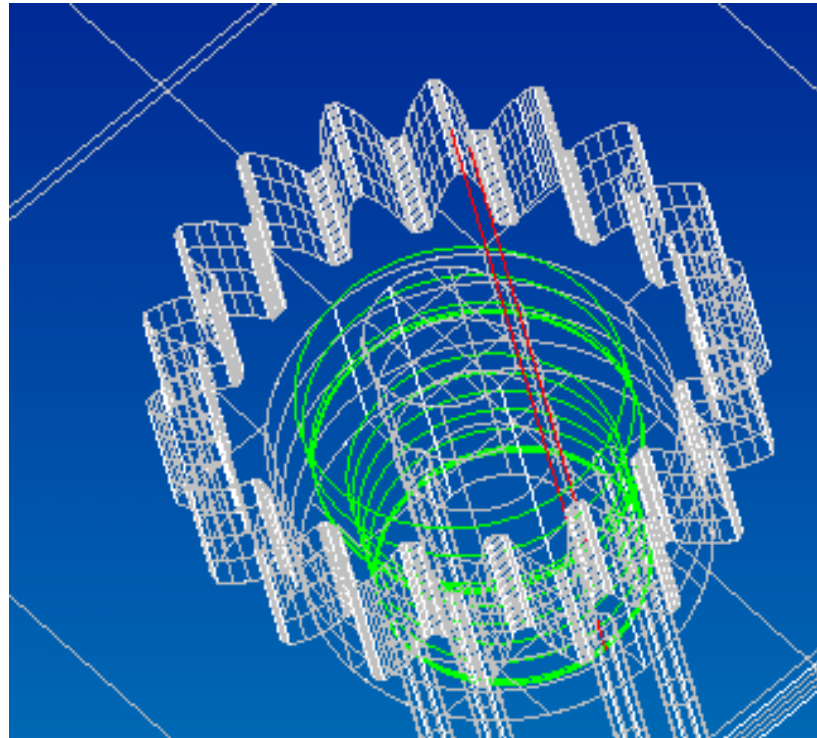


Figura 5.53. Combinación de trayectorias

Para definir el lado superior de la placa 3 por completo, en la figura 5.54 se puede observar la imagen final de la simulación previamente definida. Se aprecian claramente las diferentes profundidades de las operaciones de contorneado.

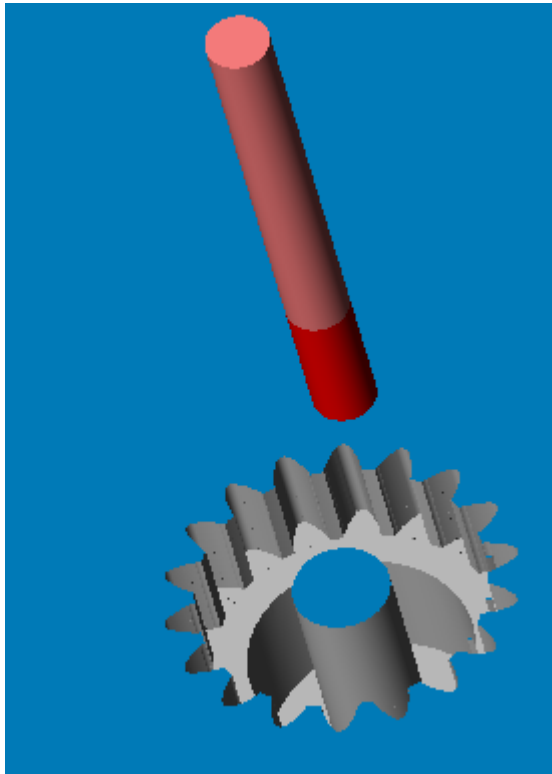


Figura 5.54. Simulación del mecanizado de la cavidad

LADO INFERIOR

Para dar por acabado el proceso de fabricación del molde de inyección, se ha mecanizado el lado inferior de la placa 3, ya que las placas restantes se adquieren ya previamente mecanizadas por el fabricante Pedrotti.

En este lado de la placa se han realizado 4 operaciones de mecanizado. Para empezar, se ha planeado la superficie entera con un espesor de 4 mm, al igual que en las placas anteriores. Más tarde, se han mecanizado los orificios correspondientes a las columnas. Después, mediante la función caja, se han realizado otros cuatro orificios para que el lado inferior del molde quede totalmente sujeto. Para finalizar, se han mecanizado los agujeros correspondientes a los expulsores.

Cada cavidad contiene 4 expulsores, por lo tanto se han realizado 32 agujeros utilizando la función caja. Estos agujeros transcurren desde la parte inferior de la placa 3, hasta donde contacta con el final de la cavidad. Así, en el momento que la pieza ha solidificado, estos cuatro expulsores se activan y expulsan la pieza de la cavidad dando inicio a otro ciclo.

Estos agujeros, llevan un poco de holgura, y es esta holgura la que realiza la función de viento en el molde. Estos vientos son de vital importancia, ya que es

necesaria la evacuación del aire interno de la cavidad. De no ser así, este aire interno acarrearía problemas importantes en proceso de fabricación de la pieza.

A continuación, se van a definir las operaciones de mecanizado realizadas en la placa 3.

Como se ha comentado previamente, este planeado tiene una profundidad de 4 mm y se ha realizado siguiendo una trayectoria “zigzag”. La figura 5.55 muestra la trayectoria que sigue la herramienta para poder hacer ese planeado.

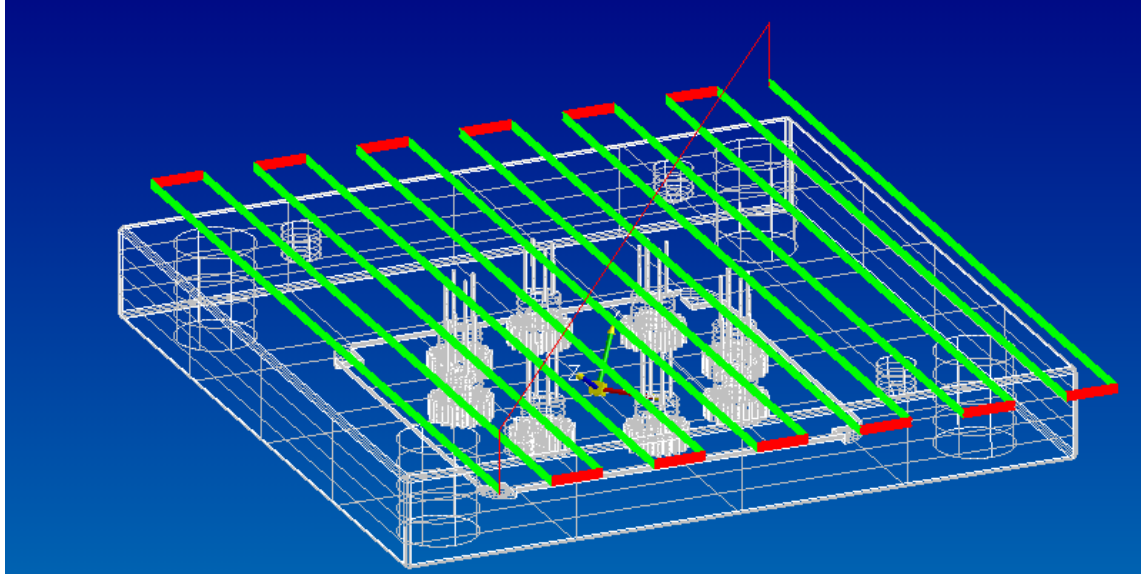


Figura 5.55. Trayectoria de la herramienta

Para poder realizar ese planeado, se ha utilizado una herramienta asignada por el programa por defecto. Todas las operaciones de planeado se han hecho utilizando la misma herramienta.

Después del planeado, se han llevado a cabo las operaciones para realizar los agujeros correspondientes a las columnas. La figura 5.56 muestra las trayectorias a realizar por la herramienta para conseguir ese mecanizado.

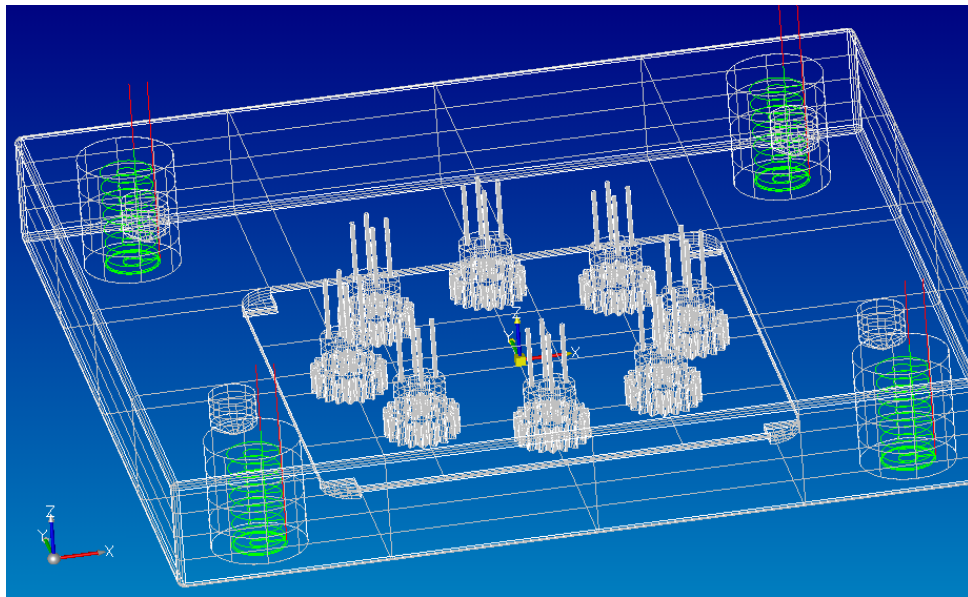


Figura 5.56. Trayectorias de la herramienta

La herramienta utilizada tiene un diámetro de 12 mm, y además tiene otras dimensiones importantes como se puede ver en la figura 5.57.

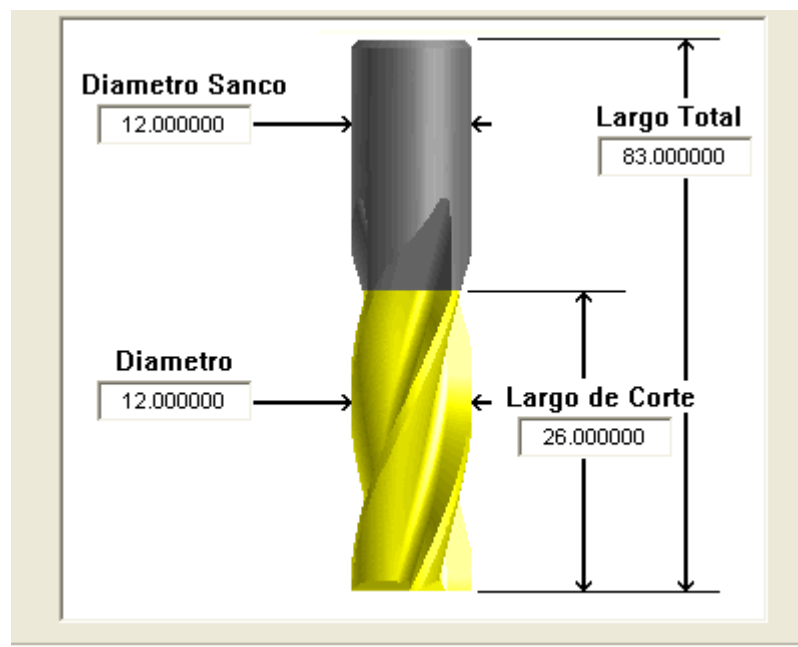


Figura 5.57. Dimensiones de la herramienta

Para definir por completo esta segunda operación realizada en el lado inferior de la placa 3, a continuación se observan los parámetros introducidos en el programa para conseguir el mecanizado ilustrado previamente.

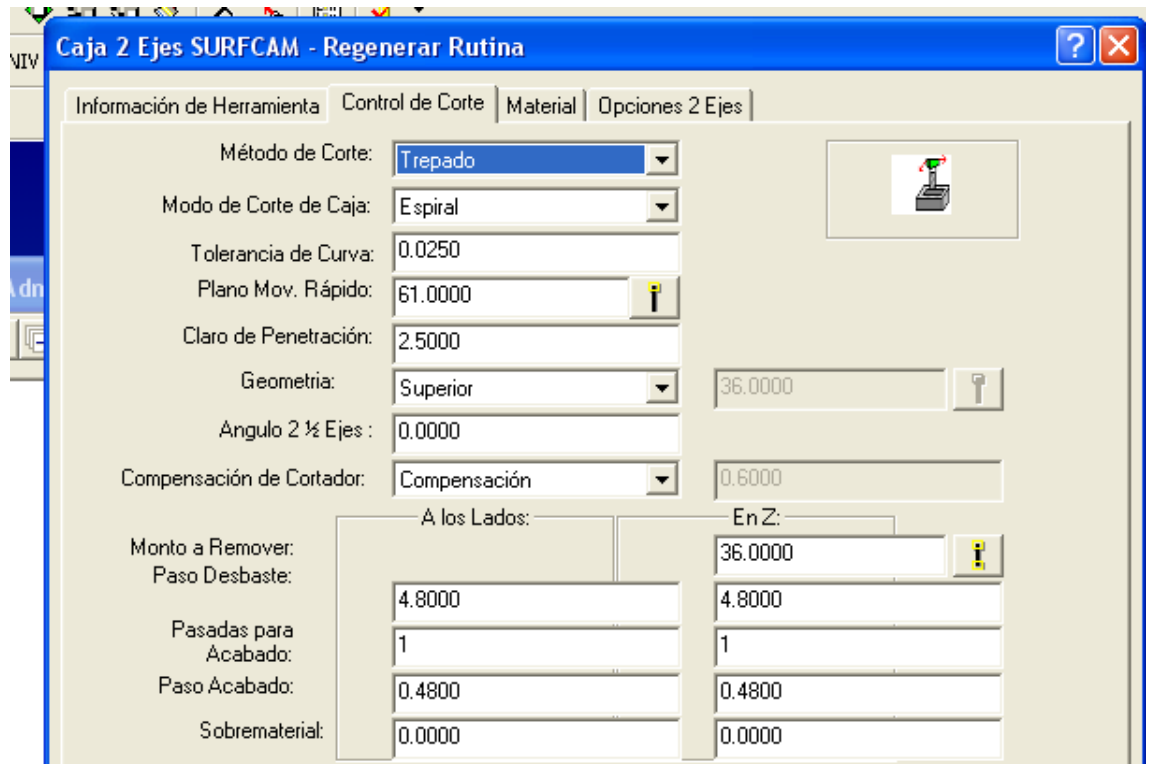


Figura 5.58. Parámetros de mecanizado

La siguiente operación, es la de los orificios de 12 mm de diámetro. Estos agujeros tienen una profundidad de 14 mm, por lo tanto es importante introducir el dato de "geometría: superior Z" correctamente, y a continuación definir la profundidad en Z. En las figuras 5.59 y 5.60 se define esta operación por completo. La herramienta utilizada para este mecanizado es la misma que se ha utilizado en la anterior operación.

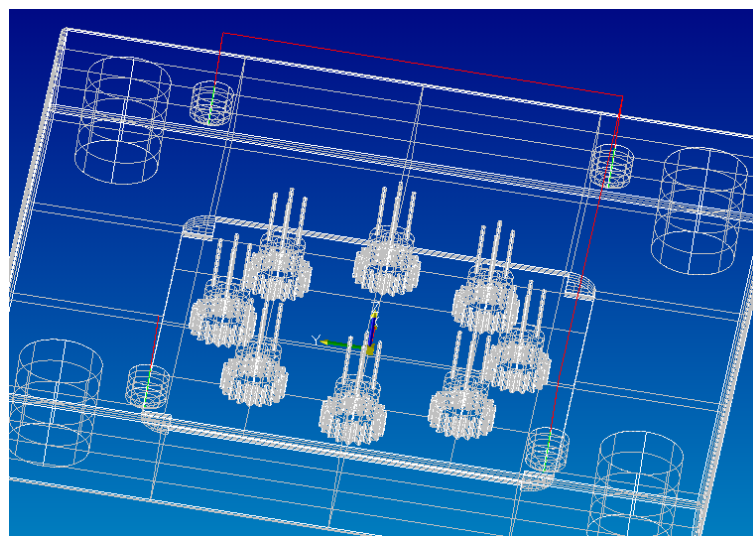
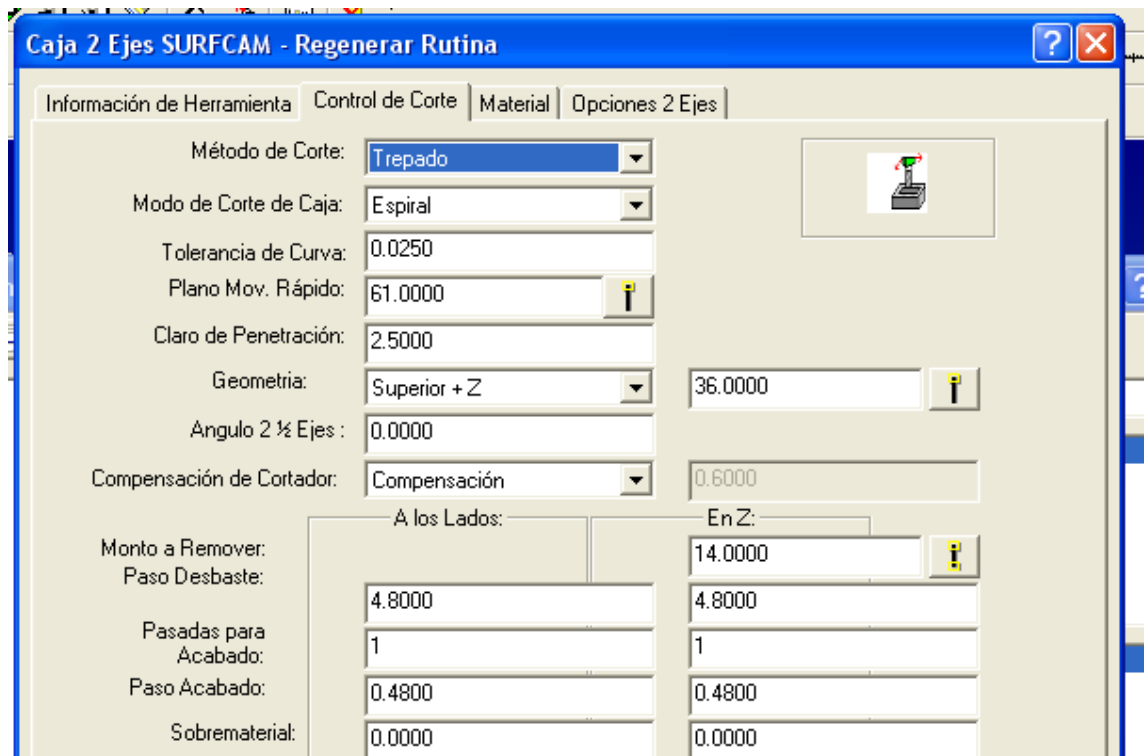


Figura 5.59. Trayectoria de mecanizado



La Figura 5.60. Parámetros introducidos para el mecanizado

La última operación de mecanizado realizada en la placa 3 ha sido la de los agujeros donde irán colocados los expulsores de la pieza. La figura 5.61 muestra la trayectoria que lleva la herramienta para el correcto mecanizado de los orificios.

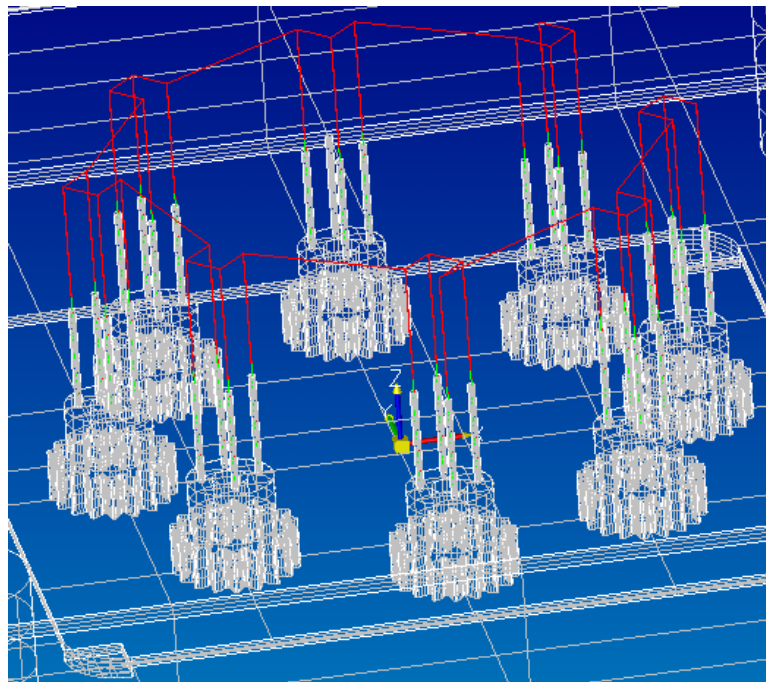


Figura 5.61. Trayectoria de la herramienta

La herramienta utilizada en esta operación, es una herramienta personalizada. Aunque el programa permite utilizar herramientas de 1 mm de diámetro, no es posible que tengan un largo de corte de 18 mm, que es la profundidad necesaria para mecanizar estos agujeros.

Por lo tanto, al modificar ese largo de corte, el programa guarda esa herramienta con el nombre de “personalizada” y esta disponible para usos futuros. La figura 5.62 muestra las dimensiones de esa herramienta modificada. En la figura 5.63 se puede apreciar como el programa le da el nombre de “personalizado” a esa herramienta.

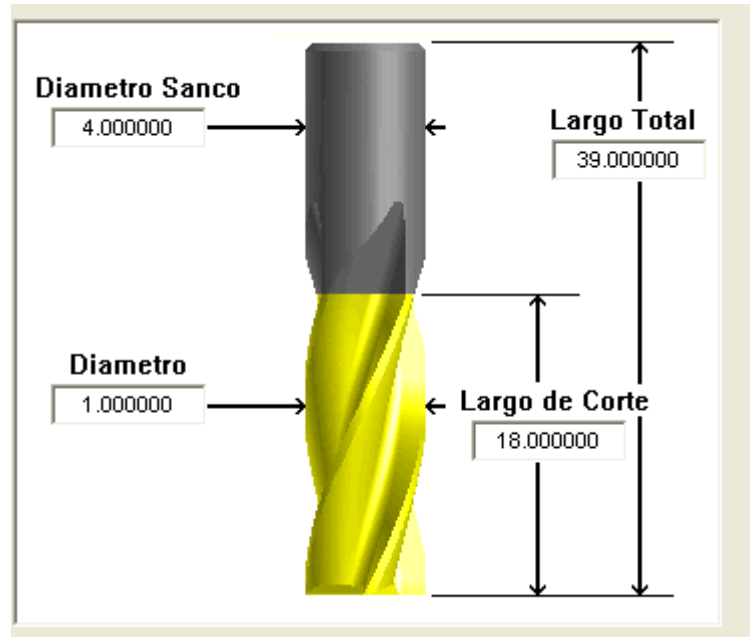


Figura 5.62. Dimensiones de la herramienta personalizada

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Selec. Herram. Personalizado 0:1:0

Selec. Material St33 1.0035

Programar con: ☒ Punta ☐ Centro (de la herramienta)

Número Herramienta: 0 Diámetro Herramienta: 1.0000

Compensación Largo: 0 Radio Punta: 0.0000

Compensación Diámetro: 0 Número de Filos: 2

Origen de Pieza: 0 Material Herramienta: Acero Rápido

Husillo: Principal Velocidad Superficial: 30.0

Torreta: Trasero Carga x Filo: 0.012000

Largo Herramienta Z: 0.0000 Calcular Velocidades ☒ Automático

Largo Herramienta X: 0.0000

Refrigerante: Refrigerante

Velocidad Husillo: 9549 SH Velocidad Superficial: 29.9991

Taza de Avance: 229.1831 MMPM Carga x D. Avance: 0.0120

Avance Penetrac: 114.5916 Carga x D. Penetrac: 0.0060

Figura 5.63. Características de la herramienta personalizada

Lo último que quedaría por definir sería los parámetros introducidos en el programa para mecanizar correctamente estos agujeros. Como previamente se ha comentado, es muy importante el valor correspondiente a “geometría: superior Z”, ya que la herramienta parte desde ese plano hasta la profundidad introducida posteriormente. La figura 5.64 muestra todos los parámetros necesarios para conseguir el mecanizado deseado.

Caja 2 Ejes SURFCAM - Regenerar Rutina

Información de Herramienta | Control de Corte | Material | Opciones 2 Ejes

Método de Corte: Trepado

Modo de Corte de Caja: Espiral

Tolerancia de Curva: 0.0250

Plano Mov. Rápido: 61.0000

Claro de Penetración: 2.5000

Geometría: Superior + Z 36.0000

Angulo 2 1/2 Ejes: 0.0000

Compensación de Cortador: Compensación 0.0500

Monto a Remover: 0.4000

Paso Desbaste: 0.4000

Pasadas para Acabado: 1

Paso Acabado: 0.0400

Sobrematerial: 0.0000

En Z: 18.0000

Figura 5.64. Parámetros de mecanizado de agujeros

Para poder identificar mejor las operaciones realizadas en el lado inferior de la placa 3, a continuación la figura 5.65 muestra la imagen final de la simulación. En ella se pueden identificar las cuatro operaciones definidas anteriormente.

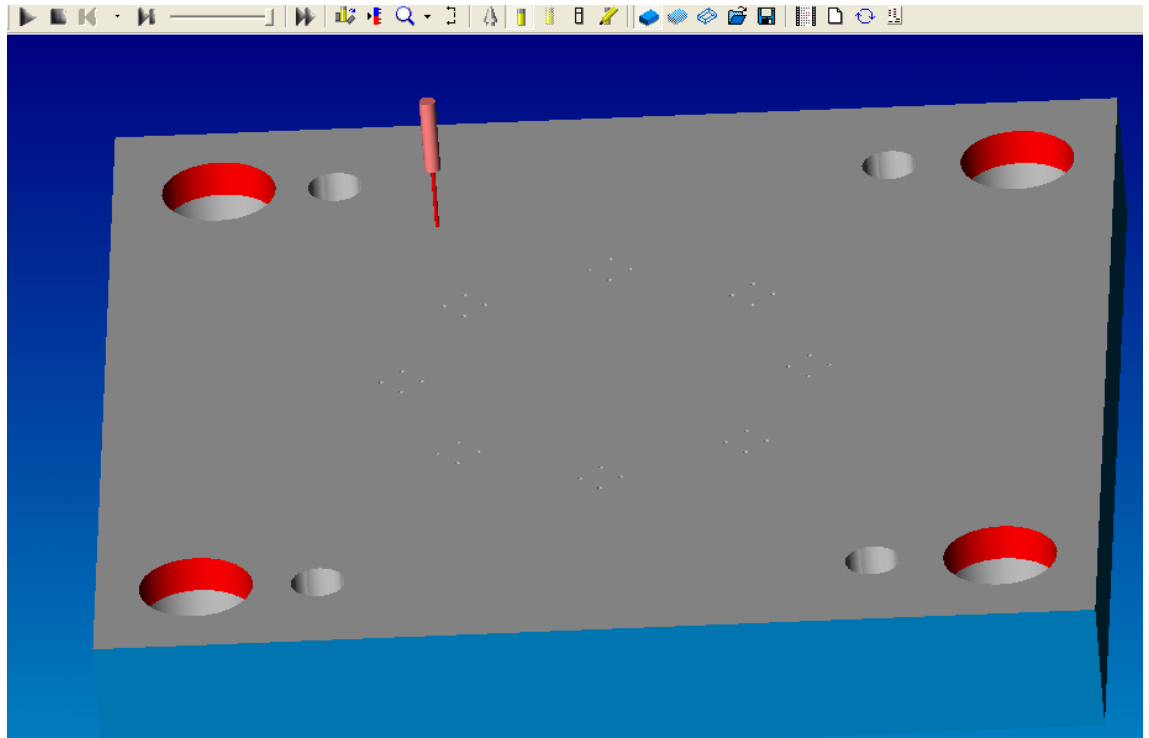


Figura 5.65. Simulación de mecanizado completo

De esta manera, queda definido todo el proceso de fabricación del molde de inyección.

5.4 POST-PROCESADO

Para dar por terminado el capítulo relacionado con la fabricación del molde de inyección de plásticos, se muestra uno de los programas obtenidos gracias al postprocesado de las placas. A continuación, se puede observar el programa de mecanizado correspondiente al lado inferior de la placa 2. Se ha introducido solo esta parte debido a la excesiva extensión de los demás programas.

PLACA 2

LADO INFERIOR

%
O0
G17 G40 G80 G90
T77 M6
M3 S1194
G0 G54 X-23.855 Y-35.355
G43 Z101. H77
M8
G0 Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G0 Z101.
X-38.5 Y0
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X-61.5 I-11.5 J0 F186.211
X-38.5 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X-61.5 I-11.5 J0 F186.211
X-38.5 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X-61.5 I-11.5 J0 F186.211
X-38.5 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X-61.5 I-11.5 J0 F186.211
X-38.5 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X-61.5 I-11.5 J0 F186.211
X-38.5 I11.5 J0
G0 Z101.
X-23.855 Y35.355
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X-46.855 I-11.5 J0 F186.211
X-23.855 I11.5 J0
G0 Z101.
X11.5 Y50.
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106

G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G0 Z101.
X46.855 Y35.355
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G0 Z101.
X61.5 Y0
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X38.5 I-11.5 J0 F186.211
X61.5 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X38.5 I-11.5 J0 F186.211
X61.5 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X38.5 I-11.5 J0 F186.211
X61.5 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X38.5 I-11.5 J0 F186.211
X61.5 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X38.5 I-11.5 J0 F186.211
X61.5 I11.5 J0
G0 Z101.
X46.855 Y-35.355
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X23.855 I-11.5 J0 F186.211
X46.855 I11.5 J0
G0 Z101.
X11.5 Y-50.
Z78.5
G1 Z75.5 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z75. F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z74.5 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211

X11.5 I11.5 J0
G1 Z74.25 F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G1 Z74. F93.106
G2 X-11.5 I-11.5 J0 F186.211
X11.5 I11.5 J0
G0 Z101.
M9
G49 Z0 M5
T69 M6
M3 S9549
G0 G54 X-35.565 Y-31.355
G43 Z101. H69
M8
G0 Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 X-35.605
G3 X-35.105 I0.25 J0
X-35.605 I-0.25 J0
G0 Z101.
X-50.21 Y4.
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X-49.79 I0.21 J0 F229.183
X-50.21 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X-49.79 I0.21 J0 F229.183
X-50.21 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X-49.79 I0.21 J0 F229.183
X-50.21 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X-49.79 I0.21 J0 F229.183
X-50.21 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X-49.79 I0.21 J0 F229.183
X-50.21 I-0.21 J0
G1 X-50.25
G3 X-49.75 I0.25 J0
X-50.25 I-0.25 J0
G0 Z101.
X-35.565 Y39.355
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X-35.145 I0.21 J0 F229.183
X-35.565 I-0.21 J0
G1 X-35.605
G3 X-35.105 I0.25 J0
X-35.605 I-0.25 J0

G0 Z101.
X-0.21 Y54.
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 X-0.25
G3 X0.25 I0.25 J0
X-0.25 I-0.25 J0
G0 Z101.
X35.145 Y39.355
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 X35.105
G3 X35.605 I0.25 J0
X35.105 I-0.25 J0
G0 Z101.
X49.79 Y4.
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X50.21 I0.21 J0 F229.183
X49.79 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X50.21 I0.21 J0 F229.183
X49.79 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X50.21 I0.21 J0 F229.183
X49.79 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X50.21 I0.21 J0 F229.183
X49.79 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X50.21 I0.21 J0 F229.183
X49.79 I-0.21 J0
G1 X49.75
G3 X50.25 I0.25 J0
X49.75 I-0.25 J0
G0 Z101.
X35.145 Y-31.355
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592

G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X35.565 I0.21 J0 F229.183
X35.145 I-0.21 J0
G1 X35.105
G3 X35.605 I0.25 J0
X35.105 I-0.25 J0
G0 Z101.
X-0.21 Y-46.
Z78.5
G1 Z75.6 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z75.2 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74.8 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74.4 F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 Z74. F114.592
G3 X0.21 I0.21 J0 F229.183
X-0.21 I-0.21 J0
G1 X-0.25
G3 X0.25 I0.25 J0
X-0.25 I-0.25 J0
G0 Z101.
M9
G49 Z0 M5
T138 M6
M3 S955
G0 G54 X-60. Y-75.
G43 Z101. H138
M8
G0 Z76.9
G1 Z72.4 F1604.282
G2 X-75. Y-60. I0 J15. F3208.564
G1 Y60.
G2 X-60. Y75. I15. J0
G1 X60.011
G2 X75.011 Y60. I0 J-15.
G1 Y-60.
G2 X60.011 Y-75. I-15. J0
G1 X-60.
Z72. F1604.282
G2 X-75. Y-60. I0 J15. F3208.564
G1 Y60.
G2 X-60. Y75. I15. J0
G1 X60.011
G2 X75.011 Y60. I0 J-15.
G1 Y-60.
G2 X60.011 Y-75. I-15. J0
G1 X-60.
G0 Z101.
M9
G90 G0 G49 Z0 M5
T77 M6
X0 Y0
M30
%

CAPÍTULO 6

RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES FINALES

Una vez finalizado el proceso completo de fabricación del molde de inyección, es hora de resumir todo el trabajo realizado y sacar conclusiones. Al comienzo del trabajo, se definió el tipo de pieza que se quería conseguir. Además de diseñar la pieza utilizando un sistema CAD, también se definió su material dando unas razones de peso para su elección. Debido a que se trata de un engranaje, está claro que tendrá que soportar esfuerzos, por lo tanto es necesario que el material de la pieza sea capaz de aguantar esas cargas. Una vez finalizada la parte correspondiente a la pieza, se ha estudiado cual sería la mejor forma de fabricarla. La elección del proceso de fabricación de la pieza ha sido bastante sencilla, ya que el moldeo por inyección de plásticos es claramente el proceso que mejor rendimiento da para este tipo de piezas. Así pues, una vez decidida la forma de fabricarla, hubo que realizar un estudio de cual sería la mejor configuración del molde.

Para ello, ha sido de gran ayuda el catalogo de la empresa especializada en moldes Pedrotti. Dada la importancia del tiempo de ciclo en este tipo de procesos, se optó por un molde de tres placas, ya que así el desmatarozado del sistema de alimentación sería más fácil. También se tuvieron que estudiar, como realizar todos los apartados relacionados con el diseño del molde, como por ejemplo: cantidad de cavidades y su distribución, cantidad y colocación de los expulsores, las dimensiones del bebedero y los canales de alimentación, la forma y dimensiones de los ataques, colocación de los vientos, el sistema de refrigeración, etc.

Una vez acabada la parte del diseño, había que decidir el método de fabricación del molde. A pesar de encontrar artículos relacionados con la electroerosión y la fabricación de moldes, se optó por el mecanizado convencional, ya que es más posible contar con un centro de mecanizado, en vez de con una maquina de electroerosión. Para realizar la fabricación del molde se ha utilizado el programa Surfcam, que da la posibilidad de realizar diferentes operaciones de mecanizado utilizando hasta 5 ejes. Tras definir las operaciones en cada placa del molde, se han realizado las simulaciones pertinentes para comprobar que esos mecanizados eran correctos. Una vez comprobado que las operaciones realizaban las geometrías deseadas, se han postprocesado para conseguir los programas en lenguaje de maquina.

El siguiente paso sería el de fabricar el molde en realidad. Para ello, se introducirían estos programas obtenidos de las simulaciones en los centros de mecanizado. A partir de la fabricación de estas placas, más la utilización de componentes de catalogo como las columnas, boquillas, casquillos, expulsores, etc. habría que realizar el montaje del molde, para finalmente fabricar las piezas definidas al comienzo del trabajo.

A través de este trabajo se ha podido constatar la importancia que tiene el sistema de alimentación en el moldeo por inyección. Es de vital importancia realizar correctamente los cálculos para diseñar este sistema. Un mal reparto de los canales acarrea problemas en la forma final de la pieza y por lo tanto, éste es un factor a tener muy en cuenta a la hora de diseñar el molde. Además de esto, también la distribución de las cavidades en el molde juega un papel muy importante, ya que dependiendo de esto el llenado será mejor o peor. En este caso se ha optado por una distribución radial de las cavidades ya que esta se considera la forma ideal para distribuirlas en el molde.

En lo que se refiere al proceso de fabricación, se ha optado por utilizar un sistema de dos ejes. Aunque el programa necesite más pasos para crear la geometría deseada, es una forma más sencilla de conseguir lo deseado. Si se tienen en cuenta todas las operaciones de mecanizado realizadas, aunque parezca extraño, todas ellas se han realizado utilizando solo 3 funciones que ofrece el programa. Por un lado, el planeado, por otro, función de caja, y por ultimo, el contorneado. Mediante la combinación de estas tres funciones ha sido posible realizar la fabricación completa del molde de inyección. Es por ello que si se realiza el proceso de fabricación utilizando un sistema de 3 ejes, lo más probable es que el tiempo de fabricación del molde sea menor.

Para finalizar, comentar que este trabajo puede ser complementado con la utilización de otros programas de simulación, como por ejemplo Moldflow. A través de este programa se podrá comprobar con total fiabilidad si el llenado de la pieza es totalmente correcto y si al acabar el proceso de fabricación de la pieza esta tiene algún error. No obstante, hay que destacar que el diseño del molde esta basado en los cálculos de expertos en el mundo del moldeo y matricería.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]Crawford, R.J., 1999. Plastic Engineering. Butterworth-Heinemann, Oxford, U.S.A.
- [2]Beltrán Rico, M., 2012. Tecnología de Polímeros. Universidad de Alicante, Spain.
- [3]Morton-Jones, D.H., 1989. Polymer Processing. Chapman & Hall, London, UK.
- [4]Fundació Privada Ascamm (<http://www.ascamm.com>)
- [5]Manas C., Salil K.R., 2007. Plastics Technology Handbook. Taylor & Francis Group, NW, U.S.A.
- [6]Plenco Plastics Engineering Company (<http://www.plenco.com>)
- [7]Levy S., Carley J.F., 1989. Plastics Extrusion Technology Handbook. Industrial Press, New Cork, U.S.A.
- [8]Rosato D., Rosato D., Rosato M., 2000. Injection Molding Handbook. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, U.S.A.
- [9]A. Muccio E., 1994. Plastics Processing Technology. ASM International, U.S.A.
- [10] Schützer. K, Helleno. A.L, Castellari. S, 2006. The influence of the manufacturing strategy on the production of molds and dies. Methodist University of Piracicaba. Brazil.
- [11] Altan. T, Lilly. B, Yen. Y.C. Manufacturing of dies and molds. The Ohio State University. U.S.A.
- [12]Plasticker (<http://plasticker.de>)
- [13]Rees H., 2001. Understanding Injection Mold Design. Hanser Gardner Publications, Munich, Germany.
- [14]Shoemaker, J., 2006. Moldflow Design Guide. A Resource for Plastic Engineers. Moldflow Corporation, Framingham, Massachusetts, U.S.A.
- [15]Kazmer D., 2007. Injection Mold Design Engineering. Hanser Gardner Publications, Munich, Germany.
- [16]DSM Engineering Plastics (<http://www.dsmepl.com>)

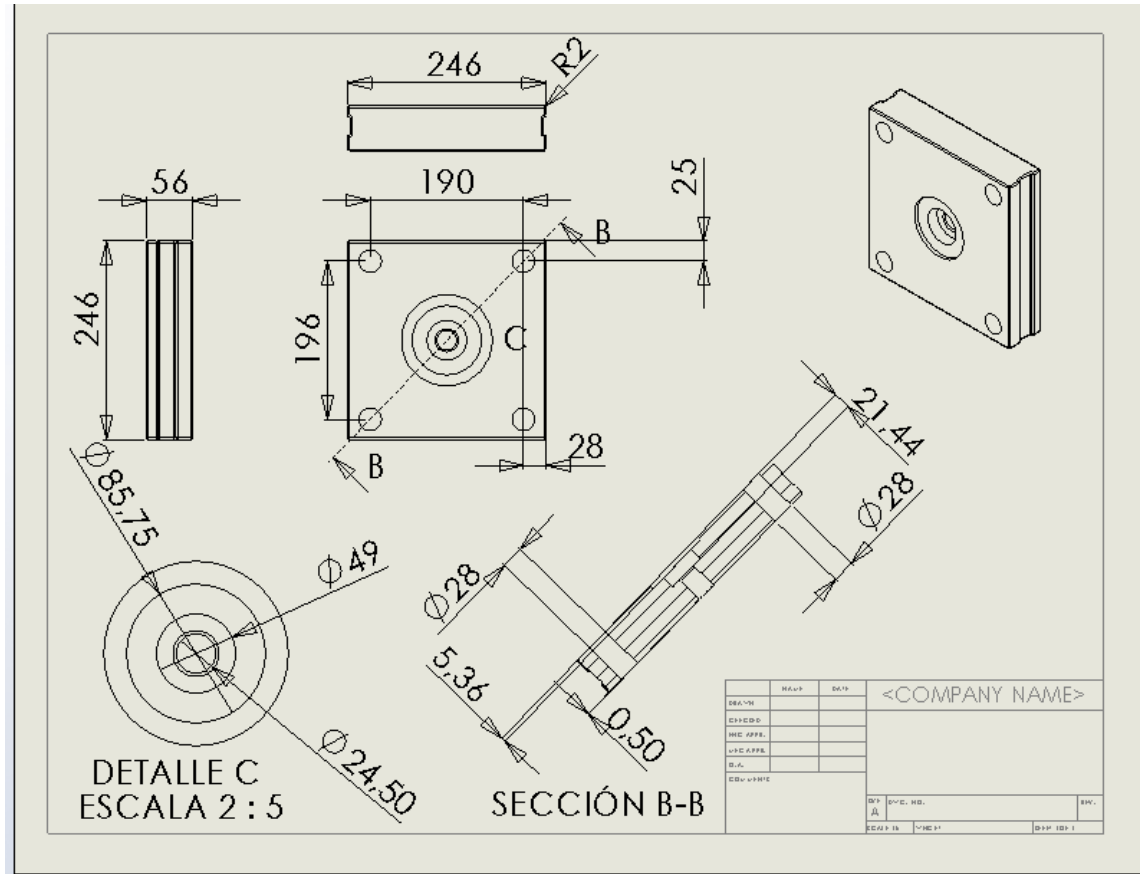
- [17] Linder, E., Unger, P., 1998. Moldes de inyección para plásticos en 100 casos prácticos. Hanser Gardner Publications, Munich, Germany.
- [18] 1997. Materiales para moldes y matrices de la industria plástica. Biferno S.A. Editorial E. Fiorentino.
- [19] Böhler Uddeholm Steels (<http://www.bohler-uddeholm.es>)
- [20] Sabogal, J.C, 2013. Diseño de la refrigeración en moldes de inyección. Revista Metal Actual.

CAPÍTULO 8

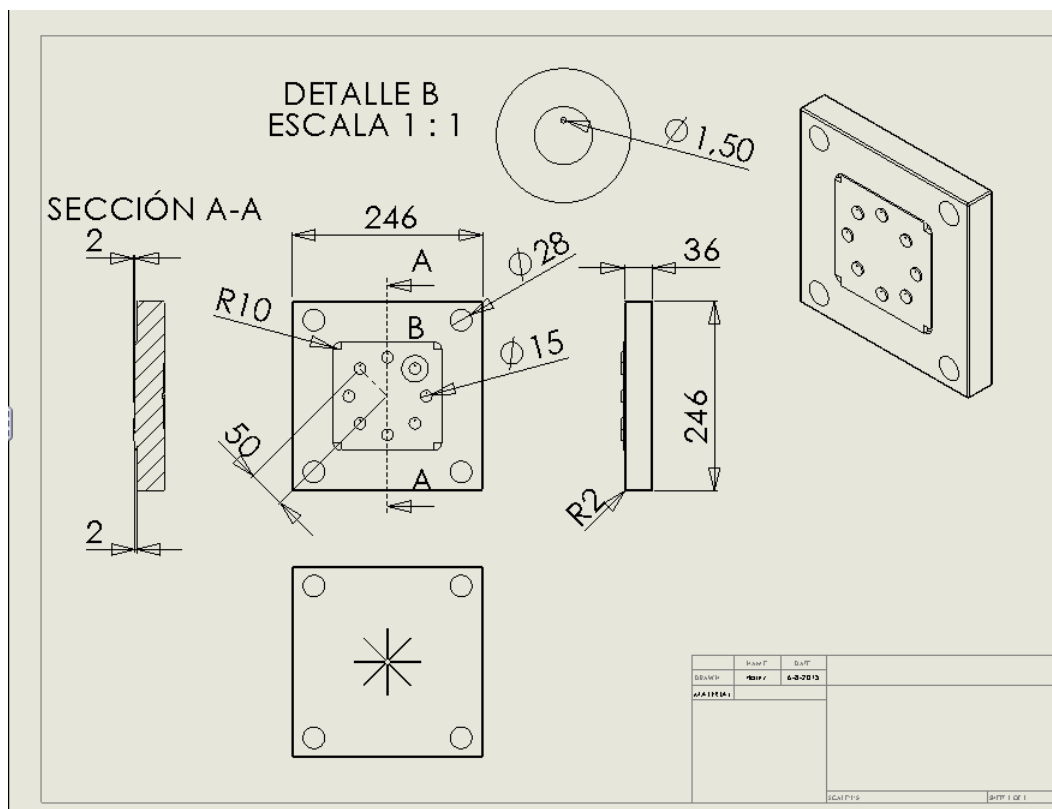
ANEXOS

8. ANEXOS

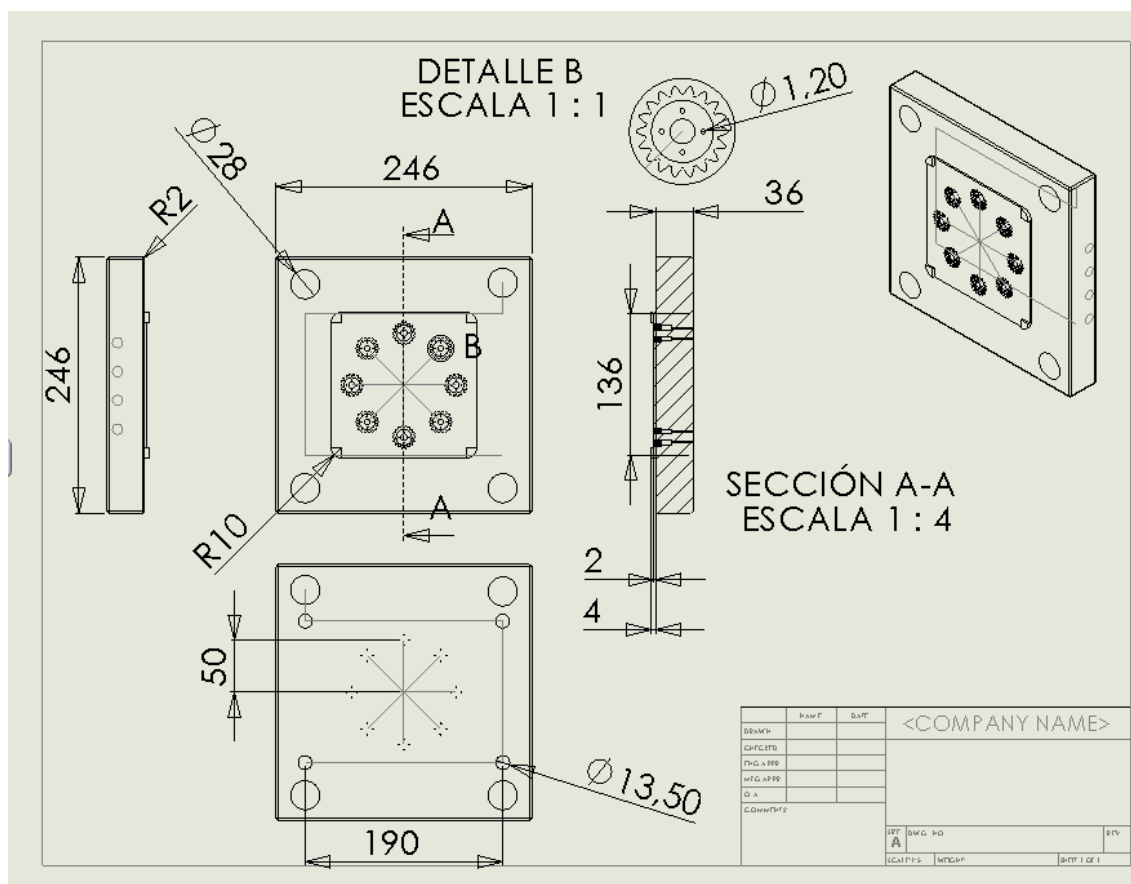
En éste último capítulo se aportan los planos correspondientes a las diferentes placas y piezas complementarias como la boquilla, el aro centrador, la columna y el casquillo, así como el engranaje.



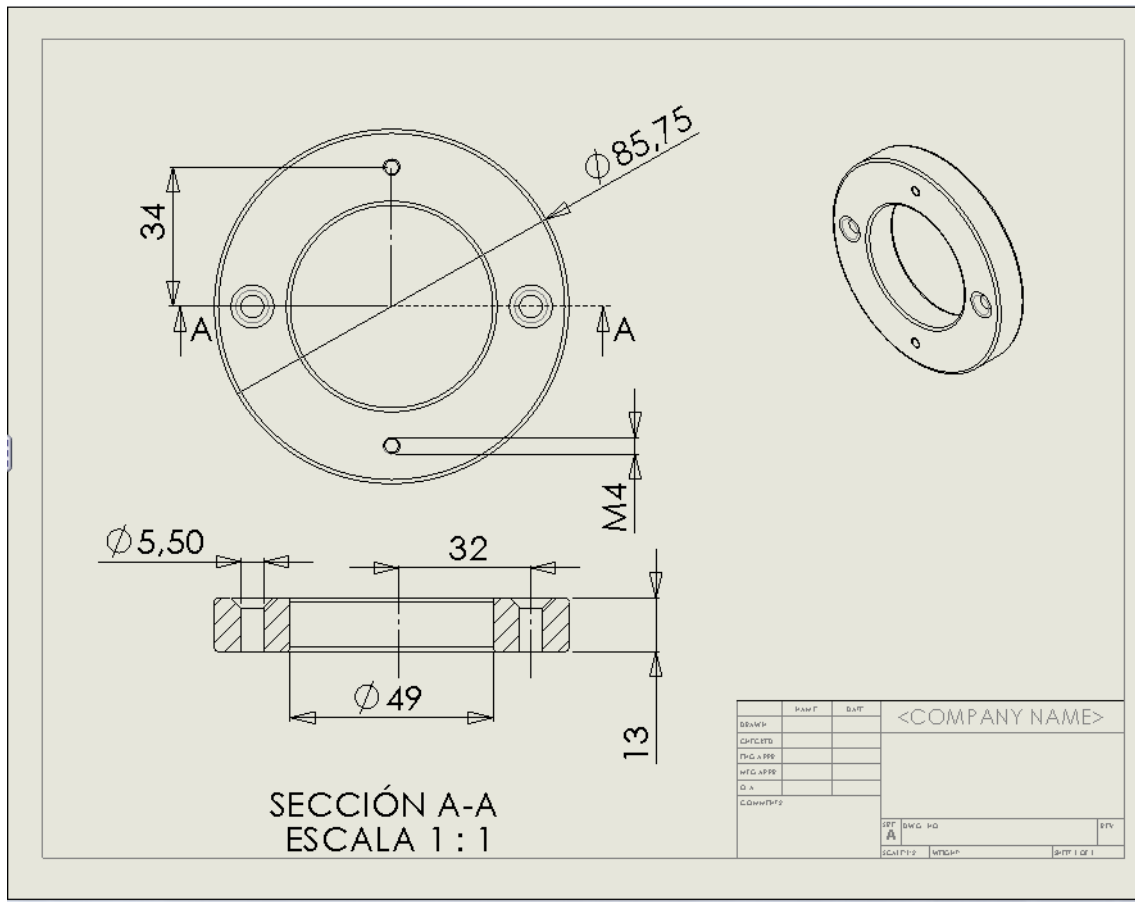
Plano 1. Placa 1



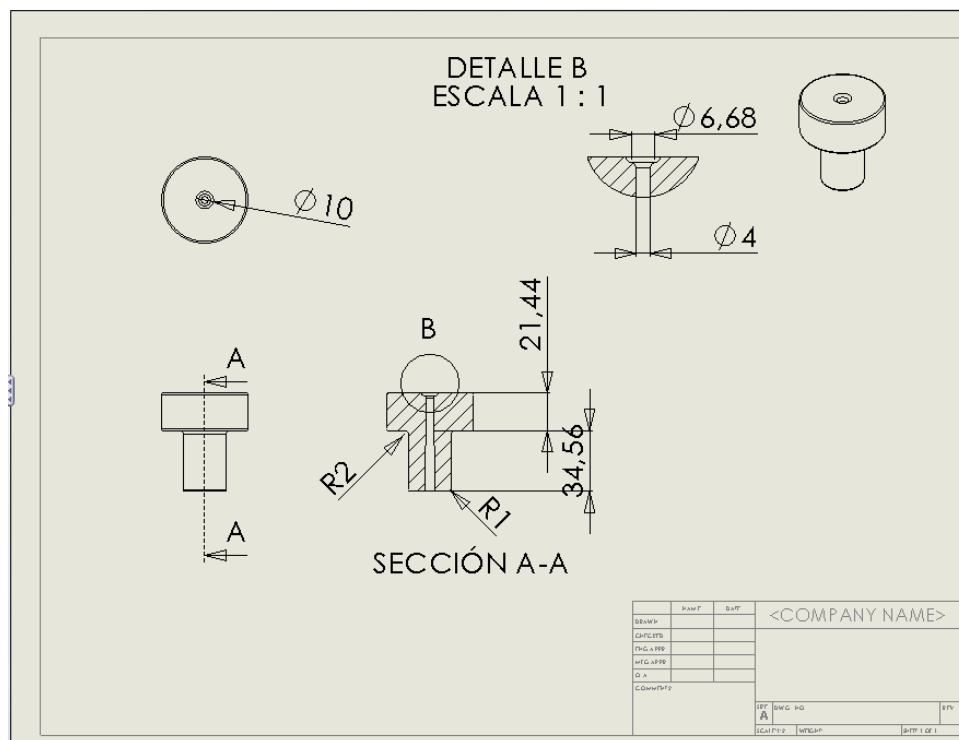
Plano 2. Placa 2



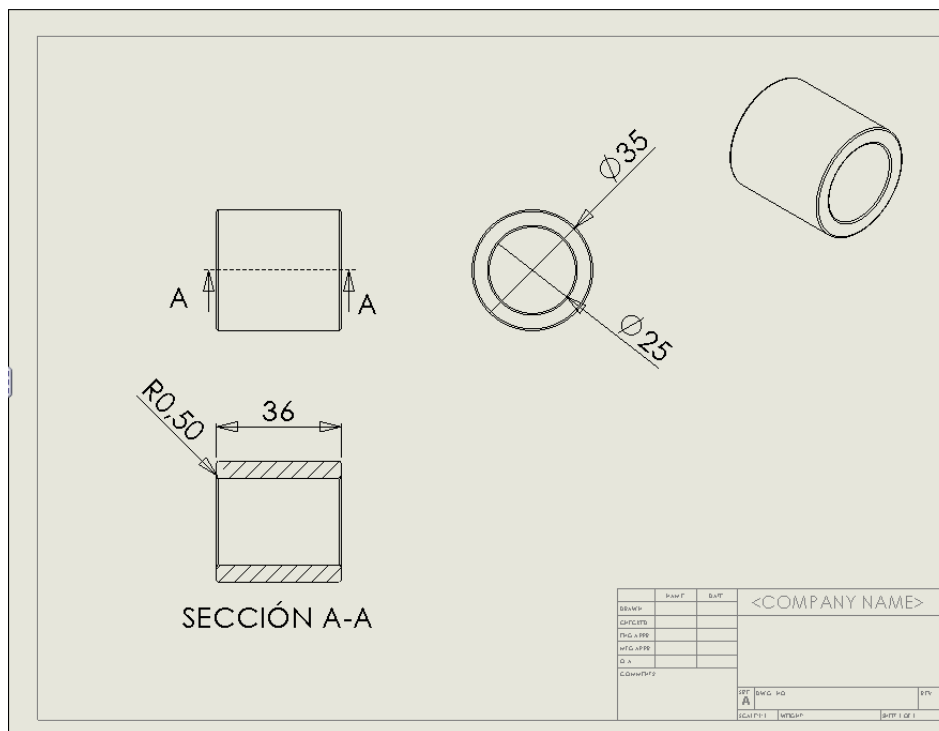
Plano 3. Placa 3



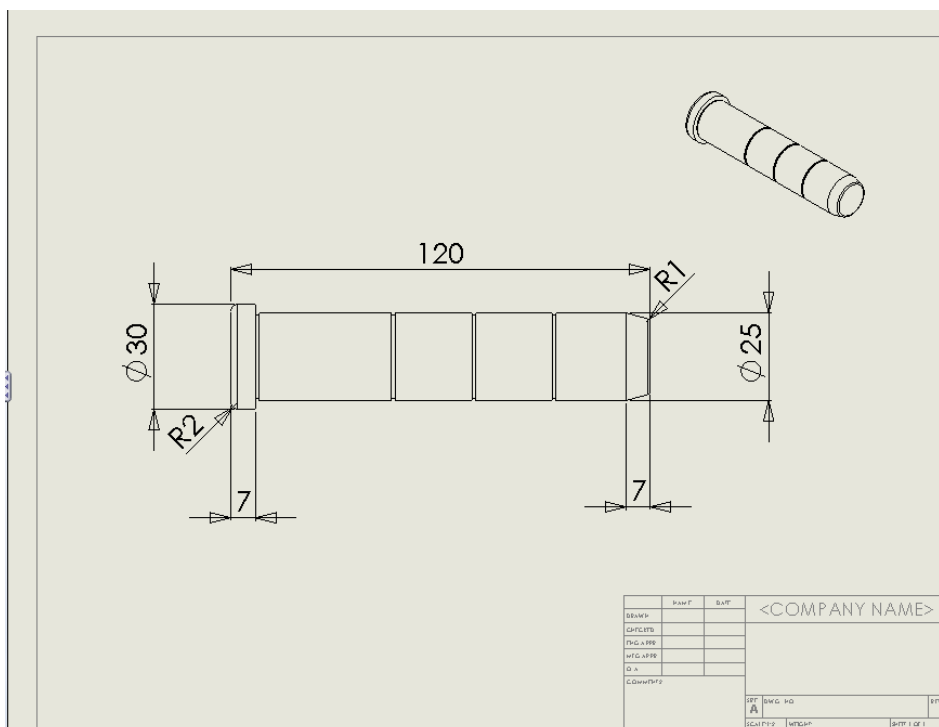
Plano 4. Aro centrador



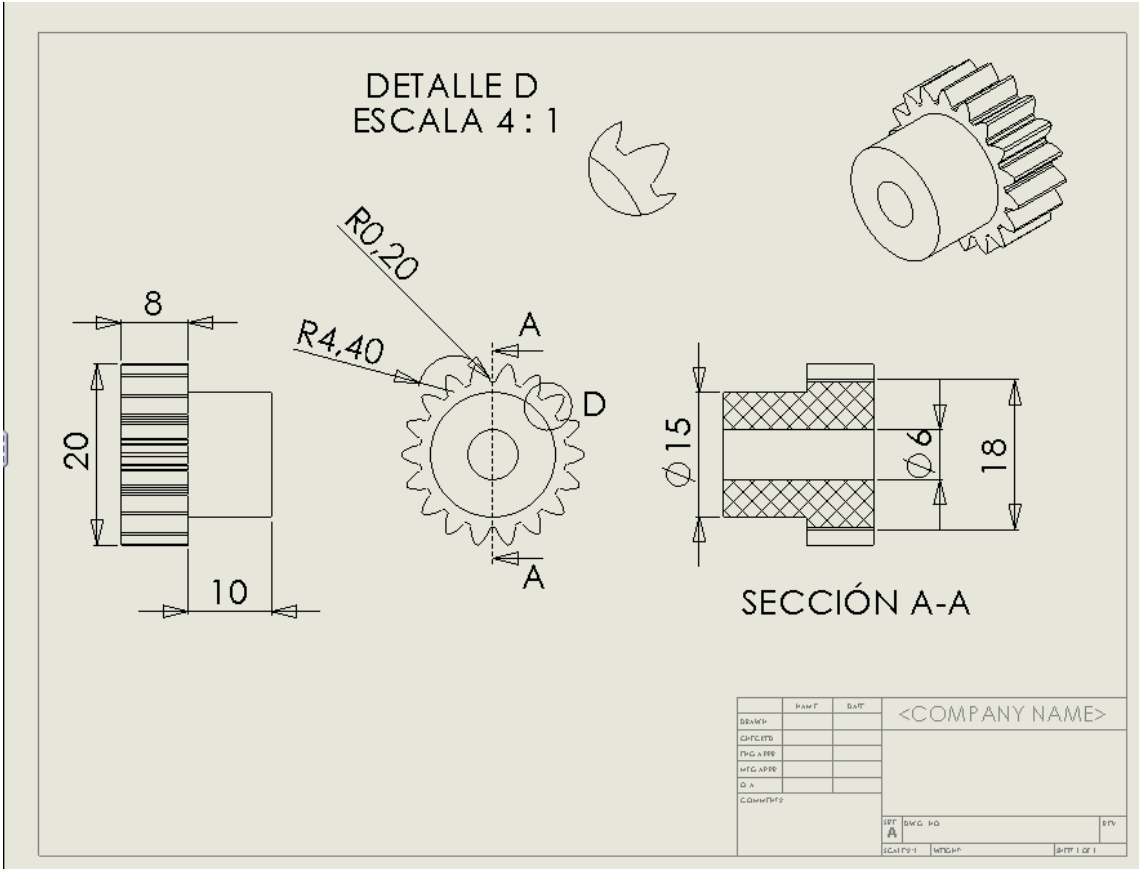
Plano 5. Boquilla



Plano 6. Casquillo DIN179



Plano 7. Columna



Plano 8. Engranaje